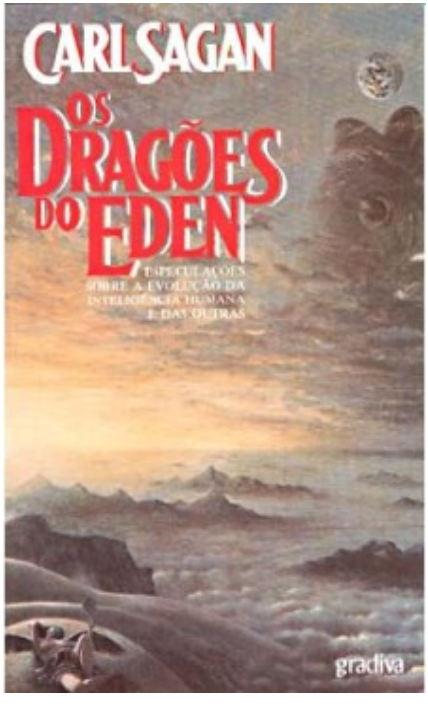
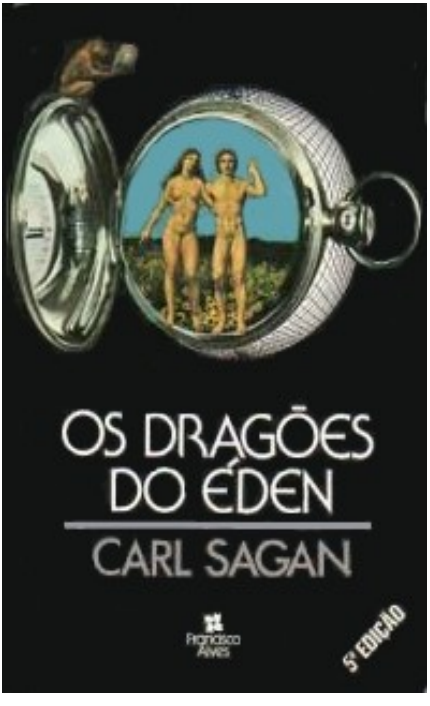
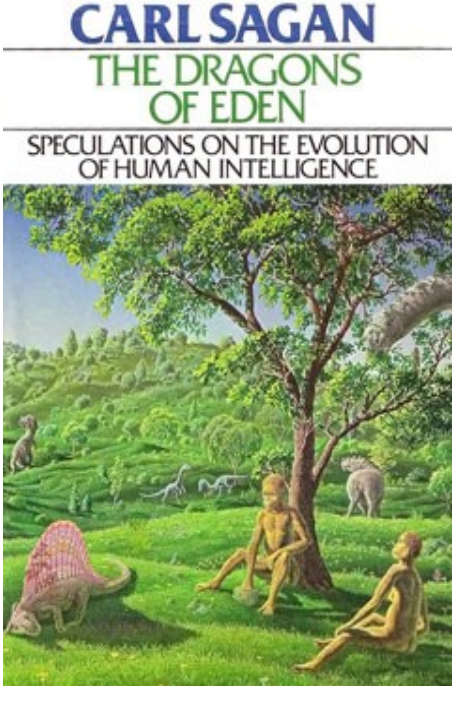
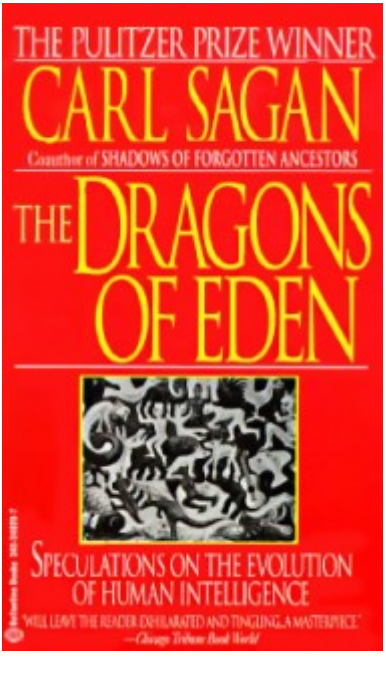

CARL SAGAN
OS DRAGÕES DO EDEN
gradiva


OS DRAGÕES DO ÉDEN
CARL SAGAN
Francisco Alves
5ª EDIÇÃO


CARL SAGAN
THE DRAGONS OF EDEN
SPECULATIONS ON THE EVOLUTION OF HUMAN INTELLIGENCE


THE PULITZER PRIZE WINNER
CARL SAGAN
Coauthor of SHADOWS OF FORGOTTEN ANCESTORS
THE DRAGONS OF EDEN
SPECULATIONS ON THE EVOLUTION OF HUMAN INTELLIGENCE

OS DRAGÕES DO ÉDEN

ESPECULAÇÕES SOBRE A EVOLUÇÃO DA INTELIGÊNCIA HUMANA

CARL SAGAN

1977

O homem está colocado entre os deuses e as feras.
PLOTINO

A principal conclusão a que chegamos neste trabalho, isto é, a de que o homem descende de alguma forma de vida inferior, será, receio, altamente desagradável para muitas pessoas. Entretanto, dificilmente alguém duvidaria de que descendemos dos bárbaros. O espanto que senti ao me deparar pela primeira vez com um grupo de fueguinos em uma costa hostil e selvagem nunca será olvidado, pois imediatamente surgiu esta reflexão em minha mente: assim eram nossos ancestrais. Esses homens estavam absolutamente nus e besuntados com pinturas, os longos cabelos emaranhados, as bocas franzidas de excitação, e a expressão era selvagem, assustada e desgostosa. Mal possuíam alguma habilidade e, tal como os animais da selva, viviam daquilo que conseguiam apanhar; não tinham qualquer forma de governo e eram implacáveis com todos os que não pertencessem à sua pequena tribo. Aquele que vê um selvagem em sua terra nativa não sentirá muita vergonha ao saber que o sangue de uma criatura mais humilde corre em suas veias. Da minha parte, poderia descender com a mesma naturalidade daquele heroico macaquinho que enfrentou seu inimigo mortal para salvar a vida de seu dono, ou daquele velho babuíno que, descendo das montanhas, salvou seu jovem companheiro de uma matilha de cães atônitos — assim como de um selvagem que se delicia em torturar os inimigos, oferece sacrifícios sangrentos, pratica o infanticídio sem remorsos, trata as esposas como escravas, não conhece a decência e é acossado pelas mais grosseiras superstições.

O homem pode ser desculpado por sentir certo orgulho pelo fato de ter atingido, embora não através dos próprios esforços, o topo da escala orgânica, e o fato de ter subido até lá, em vez de ter sido colocado ali originalmente, pode proporcionar-lhe esperanças de um destino ainda mais elevado no futuro distante. Mas não estamos preocupados com esperanças ou receios, apenas com a verdade, até onde nossa razão nos permite alcançar. Forneci as provas da melhor maneira que sabia, e devemos agradecer, ao que me parece, pelo fato de que o homem, com todas as suas nobres qualidades, com a simpatia que sente pelos menos favorecidos, com a benevolência que se estende não apenas aos outros homens, mas à mais humilde criatura viva, com seu intelecto que o compara aos deuses ao penetrar no movimento e na constituição do sistema solar — com todos esses poderes exaltados — o homem ainda guarda em sua estrutura corporal a marca inapagável de sua origem primitiva.

CHARLES DARWIN
A Descendência do Homem

Sou irmão dos dragões e companheiro das corujas.
Jó 30:29

Sumário

Introdução.....5
I O calendário cósmico.....10
II Genes e cérebros.....14
III O cérebro e a carroça.....33
1. O complexo-R.....39
2. O sistema límbico.....40
3. O neocórtex.....45
4. Sobre a natureza humana.....50
IV O Éden, uma metáfora: a evolução do homem.....53
V As abstrações das feras.....67
VI Os contos do Éden sombrio.....80
VII Os amantes e os loucos.....98
VIII A futura evolução do cérebro.....119
IX O conhecimento é nosso destino: inteligência terrestre e extraterrestre.....142
Bibliografia.....149
Agradecimentos.....156
Glossário.....157
Agradecimentos pelas permissões.....162
O Autor e Sua Obra.....163
Internet.....164

Introdução

> Na boa oratória, não é necessário que a mente do orador conheça bem o assunto sobre o qual ele vai discorrer?
>
> Platão
> *Fedro*

> Não sei onde encontrar na literatura, antiga ou moderna, uma descrição adequada da natureza com a qual estou acostumado. A mitologia é o que mais se aproxima.
>
> Henry David Thoreau
> *The journal*

Jacob Bronowski foi um dos integrantes de um pequeno grupo de homens e mulheres que em todas as épocas consideraram todo o conhecimento humano – as artes e ciências, a filosofia e a psicologia – interessante e acessível. Ele não se limitou a uma única disciplina, mas abrangeu todo o panorama do aprendizado humano. O livro e a série na televisão, *A Escalada do Homem*, representam excelente material didático e magnífica exposição; constituem de certa forma um relato de como os seres humanos e o cérebro humano evoluíram juntos.

Seu último capítulo/episódio, chamado "A longa infância", descreve o extenso período de tempo – mais longo em relação à duração de nossas vidas do que em qualquer outra espécie – no qual os seres humanos mais jovens dependem dos adultos e exibem imensa plasticidade, ou seja, a capacidade de adquirir conhecimento a partir do seu ambiente e de sua cultura. A maior parte dos organismos terrestres depende de sua informação genética, que é "preestabelecida" no sistema nervoso em intensidade muito maior do que a informação extragenética, que é adquirida durante toda a vida. No caso dos seres humanos, e na verdade no caso de todos os mamíferos, ocorre exatamente o oposto. Embora nosso comportamento seja ainda bastante controlado pela herança genética, temos, através de nosso cérebro, uma oportunidade muito mais rica de trilhar novos caminhos comportamentais e culturais em pequena escala de tempo. Fizemos uma espécie de barganha com a natureza: nossos filhos serão difíceis de criar, mas, em compensação, sua capacidade de adquirir novo aprendizado aumentará sobremaneira as probabilidades de sobrevivência da espécie humana. Além disso, os seres humanos descobriram nos últimos milênios de nossa existência não apenas o conhecimento extragenético, mas também o extrasomático: informação armazenada fora de nossos corpos, da qual a escrita é o exemplo mais notável.

A escala de tempo para a transformação evolutiva ou genética é muito longa. O período característico para a emergência de uma espécie adiantada a partir de outra talvez seja 100 000 anos, e frequentemente as diferenças de comportamento entre espécies estreitamente relacionadas – digamos, leões e tigres – não parecem muito grandes. Um exemplo da recente evolução dos sistemas orgânicos do homem é o dos nossos dedos dos pés. O dedo grande desempenha importante função no equilíbrio da marcha; os outros dedos têm utilidade muito menos evidente. Naturalmente que evoluíram a partir de apêndices digitiformes próprios para a preensão e o balanço, como ocorreu com os antropoides e macacos. Essa evolução constitui uma reespecialização – a adaptação de um sistema orgânico, que evoluiu originalmente para desempenhar uma função, a outra função inteiramente diversa – que precisou de mais ou menos 10 milhões de anos para surgir. (Os pés do gorila das montanhas sofreram evolução semelhante, porém bastante independente.)

Mas hoje *não temos* de esperar 10 milhões de anos pelo próximo progresso. Vivemos numa época em que nosso mundo se transforma em velocidade sem precedentes. Embora essas transformações sejam feitas em grande parte por nós mesmos, não podemos ignorá-las. Temos de adaptá-las, ajustá-las e controlá-las, caso contrário pereceremos.

Somente um sistema de aprendizado extragenético poderia, talvez, fazer frente às circunstâncias em rápida mutação com as quais nossa espécie se defronta. Por conseguinte, a rápida e recente evolução da inteligência humana não é apenas a causa, mas também a única solução concebível para os problemas mais sérios que nos afligem. Uma melhor compreensão da natureza e da evolução da inteligência humana pode possivelmente ajudar-nos a encarar de forma inteligente nosso futuro desconhecido e perigoso.

Estou interessado na evolução da inteligência também por outro motivo. Temos agora sob nosso comando, pela primeira vez na história, uma poderosa arma – o grande radiotelescópio – capaz de estabelecer comunicação através de imensas distâncias interestelares. Estamos apenas começando a utilizá-lo, ainda de forma hesitante e incipiente, mas em ritmo cada vez mais acelerado para determinar se outras civilizações em mundos incrivelmente distantes e exóticos estão nos enviando mensagens de rádio. Tanto a existência dessas outras civilizações quanto a natureza das mensagens que podem estar enviando dependem da universalidade do processo de evolução da inteligência que ocorrer na Terra. É possível que algumas pistas ou enfoques úteis na indagação a respeito da inteligência extraterrestre possam derivar de uma investigação da evolução da inteligência terrestre.

Fiquei satisfeito e honrado em levar a primeira Conferência sobre Filosofia Natural de Jacob Bronowski, em novembro de 1975, à Universidade de Toronto. Ao escrever este livro, expandiu-se substancialmente o âmbito daquela conferência, e recebi em troca uma estimulante oportunidade de conhecer algo acerca de assuntos aos quais nunca me dediquei em profundidade. Achei irresistível a tentação de sintetizar algo do que aprendi em um quadro coerente e apresentar

algumas hipóteses sobre a natureza e a evolução da inteligência humana que podem ser inéditas ou que, pelo menos, ainda não foram amplamente discutidas.

O assunto é difícil. Embora eu possua uma formação experimental em biologia, e tenha trabalhado durante muitos anos com a origem e a evolução inicial da vida, minha formação foi falha em, por exemplo, anatomia e fisiologia cerebral. Em vista disso, apresento os conceitos que se seguem com razoável grau de precisão; sei muito bem que muitos deles são especulativos e que só podem ser aceitos ou rejeitados à luz da experiência. Na pior das hipóteses, esta pesquisa me proporcionou a oportunidade de penetrar em um assunto palpitante talvez minhas observações estimulem outros a aprofundarem-se ainda mais.

O grande princípio da biologia – aquele que, até onde sabemos, distingue as ciências biológicas das ciências físicas – é a evolução através da seleção natural, a brilhante descoberta de Charles Darwin e Alfred Russel Wallace em meados do século XIX[1]. Graças à seleção natural, à sobrevivência preferencial e à replicação de organismos que por acaso se adaptam melhor ao ambiente é que surgiram a elegância e a beleza das formas de vida contemporâneas. O desenvolvimento de um sistema orgânico tão complexo quanto o cérebro deve ligar-se intrinsicamente aos primórdios da história da vida, seus surtos, crises e becos sem saída, a tortuosa adaptação de organismos a condições em permanente transformação, expondo novamente uma forma de vida, outrora sumamente adaptada, ao risco de extinção. A evolução é fortuita e não-planejada. Somente graças à morte de um imenso número de organismos ligeiramente mal-adaptados é que, com cérebro e tudo, estamos aqui hoje.

A biologia assemelha-se mais à história do que à física; os acidentes, erros e circunstâncias felizes do passado determinam poderosamente o presente. Ao abordarmos problemas biológicos tão difíceis, quais sejam a natureza e a evolução da inteligência humana, parece-me pelo menos prudente conferir razoável peso aos argumentos derivados da evolução do cérebro.

---

1 Desde a época do famoso debate vitoriano entre o Bispo Wilberforce e T. H. Huxley, tem havido um ataque permanente e notavelmente infrutífero contra as ideias de Darwin/Wallace, frequentemente encabeçado pelos defensores de doutrinas arraigadas. A evolução é um fato sobejamente demonstrado pelos registros fósseis e pela biologia molecular contemporânea. A seleção natural é uma teoria aceita, criada para explicar o fato da evolução. Para uma resposta muito elegante às recentes críticas dirigidas à seleção natural, inclusive a singular opinião de que se trata de uma tautologia ("Aqueles que sobrevivem"), consultar o artigo de Gould (1976) citado nas referências ao final deste livro. Darwin, naturalmente, era um homem de seu tempo eventualmente dado – segundo suas observações sobre os habitantes da Terra do Fogo já mencionados neste livro – as comparações autocongratulatórias entre os povos europeus e os outros. Na realidade, a sociedade humana nas eras pré-tecnológicas assemelhava-se muito mais aos caçadores-coletores bosquímanos, compassivos, comunitários e cultos do deserto de Kalahari do que aos habitantes da Terra do Fogo que Darwin, com certa justificativa, ridicularizava. Mas as percepções de Darwin – da existência da seleção natural como causa primordial e da importância desses conceitos para a natureza dos seres humanos – representam marcos na história da indagação humana, ainda mais por causa da pertinaz resistência que tais ideias evocaram na Inglaterra vitoriana, como, em menor escala, o fazem ainda hoje.

Minha premissa fundamental acerca do cérebro é que suas atividades – aquilo que chamamos de "mente" – representam uma consequência de sua anatomia e de sua fisiologia e nada mais. A "mente" pode ser uma consequência da ação dos componentes do cérebro de forma individual ou coletiva. Alguns processos podem constituir uma função do cérebro como um todo. Alguns estudiosos do assunto parecem ter concluído que, em virtude de não conseguirem isolar e localizar todas as funções cerebrais superiores, nenhuma geração futura de neuranatomistas será capaz de alcançar esse objetivo. Mas a ausência de provas não prova a ausência. Toda a história recente da biologia mostra que somos, até certo ponto, resultado das interações de um arranjo extremamente complexo de moléculas; o aspecto da biologia outrora considerado seu segredo mais recôndito, a natureza do material genético, agora foi fundamentalmente compreendido em termos da química dos seus ácidos nucleicos constituintes, ADN e ARN, e seus agentes operacionais, as proteínas. Existem muitos exemplos na ciência, e particularmente na biologia, onde aqueles indivíduos mais próximos da complexidade do assunto possuem um sentido mais desenvolvido (e, em última análise, errôneo) da incapacidade de abordá-la do que aqueles mais afastados. Por outro lado, aqueles muito distantes podem, estou bem convicto, confundir ignorância com perspectiva. De qualquer forma, tanto pela clara tendência na história recente da biologia quanto por não haver um mínimo de evidência para apoiá-la, não sustentarei nestas páginas quaisquer hipóteses sobre aquilo que costumavam chamar de dualismo mente-corpo, a ideia de que, habitando a matéria orgânica, existe algo de natureza um tanto diversa denominado mente.

Parte do deleite proporcionado por este assunto vem de seu contato com todas as áreas do interesse humano, particularmente com a possível interação entre os panoramas obtidos a partir da fisiologia cerebral e a introspecção humana. Há, felizmente, uma longa história desta última, e, nos tempos primordiais, as mais ricas, intrincadas e profundas eram chamadas mitos. "Mitos", declarou Sallustius no século IV, "são coisas que nunca aconteceram mas que sempre existiram." Nos *Diálogos* de Platão e na *República*, toda vez que Sócrates faz alusão a um mito – a parábola da caverna, para citar o exemplo mais famoso –, sabemos que chegamos a algo central.

Não estou empregando aqui a palavra "mito" com seu significado popular de algo amplamente aceito e contrário à realidade, mas em seu sentido anterior, como uma metáfora de alguma sutileza sobre um assunto difícil de descrever de outra maneira. Em vista disso, entremeei na exposição das páginas seguintes eventuais incursões aos mitos antigos e modernos. O próprio título do livro decorre da inesperada confluência de vários mitos diferentes, tradicionais e contemporâneos.

Muito embora eu deseje que algumas de minhas conclusões tenham interesse para aqueles que se dedicam profissionalmente ao estudo da inteligência humana, escrevi este livro para os leigos interessados. O capítulo II apresenta argumentos de dificuldade um tanto maior que o restante desta pesquisa, mas mesmo assim creio que é acessível, bastando um pequeno esforço. Daí por diante a leitura do

livro corre fácil. Termos técnicos ocasionais geralmente são definidos quando usados pela primeira vez e encontram-se reunidos no glossário. As ilustrações e o glossário constituem reforços adicionais para ajudar aqueles que não possuem formação científica prévia, embora compreender meus argumentos e concordar com eles não seja, suponho, a mesma coisa.

Em 1754, Jean-Jacques Rousseau, no parágrafo inicial de sua *Dissertação sobre a origem e a base da desigualdade da espécie humana*, escreveu:

"Importante quanto seja, a fim de formar juízo adequado do estudo natural do homem, considerá-la a partir de sua origem... não percorrerei sua organização através de desenvolvimentos sucessivos... Neste terreno eu não poderia formar senão conjeturas vagas e quase imaginárias. A anatomia comparada fez muito poucas descobertas e as observações dos naturalistas são por demais incertas para constituírem base adequada para qualquer raciocínio sólido".

As precauções de Rousseau de mais de dois séculos atrás ainda são válidas. Tem havido, porém, notável progresso na investigação tanto da anatomia comparada do cérebro quanto do comportamento animal e humano, o que ele, corretamente, considerava fundamental para o problema. É possível que não seja prematuro hoje tentar uma síntese preliminar.

I O calendário cósmico

O que foi que viste no sombrio passado e no abismo do tempo?
William Shakespeare
A tempestade

O mundo é muito velho e os seres humanos, muito recentes. Os acontecimentos importantes em nossas vidas pessoais são medidos em anos ou em unidades ainda menores; nossa vida, em décadas; nossa genealogia familiar, em séculos; e toda a história registrada, em milênios. Contudo, fomos precedidos por uma apavorante perspectiva do tempo, estendendo-se a partir de períodos incrivelmente longos do passado, a respeito dos quais pouco sabemos – tanto por não existirem registros quanto pela real dificuldade de concebermos a imensidade dos intervalos compreendidos.

Mesmo assim, somos capazes de localizar no tempo os acontecimentos do passado remoto. A estratificação geológica e a marcação radiativa poporcionam informação quanto aos eventos arqueológicos, paleontológicos e geológicos; a teoria astrofísica fornece dados a respeito das idades das superfícies planetárias, das estrelas e da galáxia da Via Láctea, assim como uma estimativa do tempo transcorrido desde a Grande Explosão ("Big Bang") que envolveu toda a matéria e a energia do universo atual. Essa explosão pode representar o início do universo ou pode constituir uma descontinuidade na qual a informação da história primitiva do universo foi destruída. Esse é certamente o acontecimento mais remoto do qual temos qualquer registro.

O modo mais didático que conheço para expressar essa cronologia cósmica é imaginar a vida de 15 bilhões de anos do universo (ou pelo menos sua forma atual desde a Grande Explosão) condensada em um ano. Em vista disso, cada bilhão de anos da história da Terra corresponderia a mais ou menos 24 dias de nosso ano cósmico, e 1 segundo daquele ano a 475 revoluções reais da Terra ao redor do Sol. Nas páginas seguintes, apresento a cronologia cósmica em três formas: uma lista de alguns períodos representativos anteriores a dezembro, um calendário do mês de dezembro e uma visão mais pormenorizada do final da noite do último dia do ano. Nessa escala, os acontecimentos de nossos livros de história – mesmo aqueles que fazem razoável esforço para desprovincializar o presente – são tão compridos que se torna necessário fazer uma recontagem, segundo a segundo, dos últimos segundos do ano cósmico. Mesmo então, encontramos exemplos classificados como contemporâneos que aprendemos a considerar como amplamente separados no tempo. Na história da vida, uma tapeçaria igualmente rica deve ter sido tecida em outros períodos – por exemplo, entre 10h 02min e 10h 03min na manhã do dia 6 de abril ou 16 de setembro ou qualquer outro dia. Contudo, só dispomos de registros pormenorizados dos últimos momentos do ano cósmico.

A cronologia corresponde aos melhores indícios atualmente disponíveis. No entanto, esta é bastante duvidosa. Ninguém se espantaria se, por exemplo, fosse descoberto que as plantas colonizaram a Terra no Período Ordoviciano em vez de fazê-lo no Periodo Siluriano; ou que os vermes segmentados apareceram mais cedo no Período Pré-Cambriano do que é indicado. Além disso, na cronologia dos dez últimos segundos do ano cósmico, foi-me evidentemente impossível incluir todos os acontecimentos importantes: espero ser perdoado por não ter mencionado explicitamente os progressos na arte, na música e na literatura ou as revoluções americana, francesa, russa e chinesa, importantes do ponto de vista histórico.

DATAS ANTERIORES A DEZEMBRO

Grande Explosão	1º de janeiro
Origem da Via Láctea	1º de maio
Origem do sistema solar	9 de setembro
Formação da Terra	14 de setembro
Origem da vida na Terra	~ 25 de setembro
Formação das rochas mais antigas que se conhecem	~ 1º de novembro
Fósseis mais antigos (bactérias e algas verde-azuladas)	9 de outubro
Surgimento do sexo (microrganismos)	~ 1º de novembro
Plantas fotossintéticas fósseis mais antigas	12 de novembro
Eucariotas (primeiras células providas de núcleo)	15 de novembro

~ aproximadamente

A construção de quadros e calendários desse tipo é inevitavelmente humilhante. É desconcertante que, em tal ano cósmico, a Terra não se tenha condensado a partir da matéria interestelar antes do início de setembro; que os dinossauros tenham surgido na noite de Natal; que as flores tenham emergido no dia 28 de dezembro e os homens e mulheres tenham aparecido às 22h do último dia do ano. Toda a história conhecida ocupa os últimos dez segundos do dia 31 de dezembro; e o tempo compreendido entre o declínio da Idade Média e o presente ocupa pouco mais que um segundo. Mas, em virtude de ter sido feito o arranjo desse modo, o primeiro ano cósmico acabou de findar. E, apesar da insignificância do instante que ocupamos até agora no tempo cósmico, é claro que o destino das coisas na Terra e em suas proximidades dependerá muito do conhecimento científico e da sensibilidade própria da humanidade.

31 DE DEZEMBRO

Origem do *Proconsul* e do *Ramapithecus,* prováveis ancestrais dos antropoides e do homem	~ 13h 30min
Primeiros seres humanos	~ 22h 30min
Uso disseminado de instrumentos de pedra	23h
Domesticação do fogo pelo homem de Pequim	23h 46min
Início do período glacial mais recente	23h 56min
Navegantes instalam-se na Austrália	23h 58min
Numerosas pinturas em cavernas na Europa	23h 59min
Criação da agricultura	23h 59min 20s
Civilização neolítica; primeiras cidades	23h 59min 35s
Primeiras dinastias na Suméria, em Ebla e no Egito; desenvolvimento da astronomia	23h 59min 50s
Invenção do alfabeto; Império Acadiano	23h 59min 51s
Códigos legais de Hamurabi na Babilônia; reino médio no Egito	23h 59min 52s
Metalurgia em bronze, cultura micênica; Guerra de Troia; cultura olmeca; invenção da bússola	23h 59min 53s
Metalurgia em ferro; Primeiro Império Assírio; reino de Israel; fundação de Cartago pelos fenícios	23h 59min 54s
Índia de Asoka; dinastia Ch'in na China; Atenas de Péricles; nascimento de Buda	23h 59min 55s
Geometria euclidiana; física de Arquimedes; astronomia de Ptolomeu; Império Romano; nascimento de Cristo	23h 59min 56s
Zero e decimais inventadas na aritmética indiana; queda de Roma; conquistas muçulmanas	23h 59min 57s
Civilização maia; dinastia Sung na China; Império Bizantino; invasão mongol; Cruzadas	23h 59min 58s
Renascimento na Europa; viagens de descobrimento empreendidas pela Europa e pela dinastia Ming da China; surgimento do método experimental científico	23h 59min 59s
Amplo desenvolvimento da ciência e da tecnologia; surgimento de uma cultura global; aquisição dos meios de autodestruição da espécie humana; primeiros passos na exploração planetária por naves espaciais e a busca de inteligência extraterrestre	Agora: o primeiro segundo do novo ano

CALENDÁRIO CÓSMICO - DEZEMBRO

Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
	1 Começa a surgir na Terra a atmosfera de oxigênio.	2	3	4	5 Extenso vulcanismo e formação de canais em Marte.	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16 Primeiros vemes.	17 Final da Era Pré-Cambriana. Início da Era Paleozoica e Período Cambriano. Prosperam os invertebrados	18 Primeiro plâncton oceânico. Prosperam os trilobitas.	19 Período Ordoviciano. Primeiros peixes, primeiros vertebrados.	20 Período Siluriano. Primeiras plantas vascularizadas. Plantas começam a colonizar a Terra.
21 Início do Período Devoniano. Primeiros insetos. Animais começam a colonizar a Terra.	22 Primeiros anfíbios. Primeiros insetos alados.	23 Período Carbonífero Primeiras árvores. Primeiros répteis.	24 Início do Período Permiano. Primeiros dinossauros.	25 Final da Era Paleozoica. Início da Era Mesozoica.	26 Período Triássico. Primeiros mamíferos.	27 Período Jurássico. Primeiras aves.
28 Período Cretáceo. Primeiras flores. Extinção dos dinossauros.	29 Final da Era Mesozoica. Início da Era Cenozoica e do Período Terciário. Primeiros cetáceos. Primeiros primatas.	30 Evolução inicial dos lobos frontais nos cérebros dos primatas. Primeiros hominídeos. Mamíferos gigantes prosperam.	31 Final do Período Pliocênico. Período Quaternário (Pleistocênico e Holocênico). Primeiros seres humanos.			

II Genes e cérebros

Que é o martelo? Que é a corrente?
Em que fornalha estava teu cérebro?
Que é a bigorna? Que mãe terrível
Ousará manipular seus terrores mortais?

William Blake
The tiger

A evolução biológica tem sido acompanhada de crescente complexidade. Os mais complexos organismos da Terra hoje contêm consideravelmente mais informação armazenada, tanto genética quanto extragenética, do que os mais complexos organismos de, digamos, 200 milhões de anos atrás – que representam somente cinco por cento da vida no planeta, ou seja, cinco dias atrás no Calendário Cósmico. Os mais simples organismos da Terra hoje possuem tanta história evolutiva atrás de si quanto o mais complexo dele, e é perfeitamente possível que a bioquímica interna das bactérias contemporâneas seja mais eficiente do que a bioquímica interna das bactérias de 3 bilhões de anos atrás. Mas a quantidade de informação genética das bactérias atuais provavelmente não é maior do que a de seus ancestrais bacterianos arcaicos. É importante distinguir entre a quantidade de informação e a qualidade dessa informação.

As diversas formas de vida classificam-se em grupos de amplitude crescente. As maiores divisões taxonômicas fazem distinção entre as plantas e os animais ou entre os organismos portadores de núcleos pouco desenvolvidos em suas células (como as bactérias e as algas verde-azuladas) e os que têm núcleos nitidamente demarcados e elaboradamente arquitetados (como os protozoários e os seres humanos). Todos os organismos do planeta Terra, entretanto, tenham ou não núcleos bem definidos, possuem cromossomas, que contêm o material genético passado de geração a geração. Em todos os organismos, as moléculas hereditárias são constituídas por ácidos nucleicos. Com algumas exceções sem importância, o ácido hereditário é sempre a molécula conhecida como ADN (ácido desoxirribonucleico). Há outras divisões subsequentes entre vários tipos de plantas e animais, chegando às espécies, subespécies e raças.

Uma espécie é um grupo capaz de produzir prole fértil através de cruzamento com outros membros da própria espécie, mas não de outras. O acasalamento de gerações diferentes de cães produz filhotes que, quando crescidos, serão cães competentes sob o ponto de vista reprodutor. Mas os cruzamentos entre espécies – mesmo quando semelhantes, como é o caso dos burros e cavalos – produzem prole estéril (nesse caso, as mulas). Os burros e cavalos são, portanto, classificados como espécies diferentes. Acasalamentos viáveis, mas estéreis, de espécies mais separadas – leões e tigres, por exemplo – por vezes ocorrem e se, por um raro acaso, a prole for fértil, isso só indica que a definição da espécie é um tanto confusa. Todos os seres humanos são membros da mesma espécie, *Homo sapiens*,

que significa no latim mais otimista "Homem, o sábio". Nossos prováveis ancestrais, o *Homo erectus* e o *Homo habilis* – agora extintos –, são classificados no mesmo gênero (*Homo*), mas em espécie diferente, embora ninguém (pelo menos nos últimos tempos) tenha tentado as experiências adequadas para observar se o cruzamento deles conosco produziria uma prole fértil.

Outrora se acreditava piamente que cruzamentos entre organismos extremamente diferentes poderiam gerar prole. O Minotauro, morto por Teseu, era tido como resultado de um cruzamento entre um touro e uma mulher. O historiador romano Plínio sugeriu que o avestruz, então recém-descoberto, resultava do cruzamento entre a girafa e o mosquito. (Teria de ser, suponho, uma girafa fêmea e um mosquito macho.) Na prática, devem existir muitos cruzamentos não tentados em vista de uma compreensível falta de motivação.

O próximo gráfico deste capítulo será repetidamente mencionado no seu decorrer. A curva contínua mostra as épocas da emergência de diversas formas de vida importantes. Naturalmente que existem muitas outras formas que não foram assinaladas nos poucos pontos da figura. Mas a curva é representativa de uma série muito maior de pontos que seriam necessários para caracterizar as dezenas de formas separadas que surgiram durante a história da vida em nosso planeta. As principais formas que evoluíram mais recentemente são, sem sombra de dúvida, as mais complicadas.

Uma certa noção da complexidade de um organismo pode ser obtida simplesmente ao se considerar seu comportamento – ou seja, o número de diferentes funções que é intimado a desempenhar no decurso de sua vida. Mas a complexidade também pode ser avaliada em termos do conteúdo mínimo de informação no material genético do organismo. Um cromossoma humano típico possui apenas uma molécula de ADN, muito longa e que se enrola, de forma que o espaço ocupado é muito menor do que seria, não fosse a forma espiralada. Essa molécula de ADN é composta de blocos menores, um pouco semelhante aos degraus e lados de uma escada de corda. Esses blocos são chamados nucleotídios e comportam quatro variedades. A linguagem da vida, nossa informação hereditária, é determinada pela sequência dos quatro tipos diferentes de nucleotídios. Podemos dizer que a linguagem da hereditariedade é escrita com um alfabeto de apenas quatro letras.

Mas o livro da vida é muito rico; uma molécula típica de ADN cromossômico do ser humano é constituída de cerca de 5 bilhões de pares de nucleotídios. As instruções genéticas de todas as outras formas de vida da Terra são escritas na mesma língua, usando o mesmo código. Na realidade, essa linguagem genética comum a todas as espécies constitui um ponto de apoio à teoria de que todos os organismos da Terra descendem de um único ancestral, situando a origem da vida a cerca de uns 4 bilhões de anos.

A informação contida em qualquer mensagem é geralmente descrita em unidades chamadas *bits*, a abreviação de *binary digits* (dígitos binários). O esquema aritmético mais simples não usa dez dígitos (como nós fazemos em

virtude do acidente evolutivo de possuirmos dez dedos), mas apenas dois, o **0** e o **1**. Dessa forma, qualquer pergunta suficientemente objetiva pode ser respondida por um único dígito – 0 ou 1, sim ou não. Se o código genético fosse escrito numa língua de duas letras em vez de quatro, o número de *bits* em uma molécula de ADN equivaleria ao dobro do número de pares de nucleotídios. Mas, em vista de existirem quatro tipos diferentes de nucleotídios, o número de *bits* de informação no ADN é quatro vezes o número de pares de nucleotídios. Por conseguinte, se um único cromossoma possui 5 bilhões (5×10^9) de nucleotídios, ele contém 20 bilhões (2×10^{10}) de bits de informação. (Um símbolo como 10^9 indica simplesmente o número 1 seguido por certo número de zeros – nove, neste caso.)

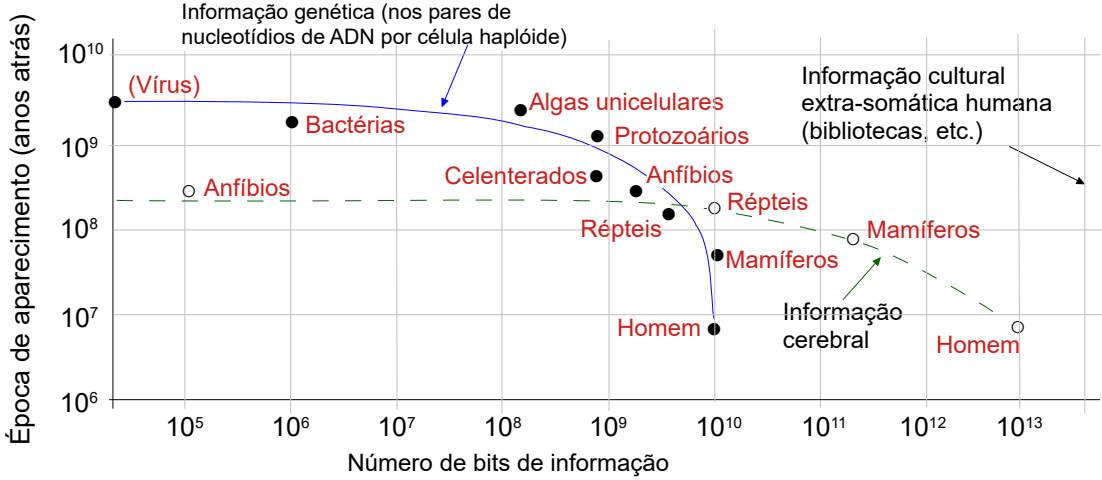
Qual a quantidade de informação de 20 bilhões de *bits*? A que equivaleria se fosse escrita em um livro comum impresso em linguagem humana moderna? Os alfabetos das línguas existentes possuem, caracteristicamente, de vinte a quarenta letras e mais uma ou duas dúzias de numerais e sinais de pontuação, portanto, 64 caracteres alternativos devem ser suficientes para a maior parte dessas línguas. Uma vez que 26 equivale a 64 (2 x 2 x 2 x 2 x 2 x 2), não devem ser necessários mais de seis *bits* para especificar um determinado caractere. Podemos imaginar um tipo de jogo de vinte perguntas, no qual cada resposta corresponde ao investimento de um único *bit*, a uma pergunta com resposta sim/não. Suponha que o caractere em questão seja a letra J. Podemos especificá-la assim:

PRIMEIRA PERGUNTA: É uma letra (0) ou outro tipo de caractere (1)?
RESPOSTA: Uma letra (0).
SEGUNDA PERGUNTA: Fica na primeira metade (0) ou na segunda metade do alfabeto (1)?
RESPOSTA: Na primeira metade (0).
TERCEIRA PERGUNTA: Das treze letras da primeira metade do alfabeto, está nas primeiras sete (0) ou nas seis finais (1)?
RESPOSTA: Nas seis finais (1).
QUARTA PERGUNTA: Das seis finais (H, I, J, K, L, M), situa-se na primeira metade (0) ou na segunda metade (1)?
RESPOSTA: Na primeira metade (0).
QUINTA PERGUNTA: Das seguintes letras H, I, J, é o H (0) ou uma das outras duas (1)?
RESPOSTA: É uma das outras duas (1).
SEXTA PERGUNTA: É o I (0) ou J (1)?
RESPOSTA: É o J (1).

Especificar a letra J, portanto, corresponde à mensagem binária 001011. Não foram necessárias vinte perguntas, mas apenas seis, e é nesse sentido que são necessários somente seis bits para determinar uma certa letra. Por conseguinte, 20 bilhões de bits equivalem a cerca de 3 bilhões de letras ($2 \times 10^{10} / 6 \sim 3 \times 10^9$). Se existem aproximadamente seis letras em uma palavra média, o conteúdo de informação de um cromossomo humano corresponde a cerca de 500 milhões de palavras ($3 \times 10^9 / 6 = 5 \times 10^8$). Se existem cerca de trezentas palavras em uma página impressa comum, isso corresponde a mais ou menos 21 milhões de páginas ($5 \times 10^8 / 3 \times 10^2 = 2 \times 10^6$). Se um livro comum contém quinhentas páginas desse tipo, o conteúdo de informação de um único cromossomo humano corresponde a uns 4 000 volumes ($2 \times 10^6 / 5 \times 10^2 = 4 \times 10^3$). Fica claro então que a sequência de degraus de nossas escadas de ADN representa uma enorme biblioteca de

informação. É igualmente lógico que há necessidade de uma biblioteca tão rica para especificar um objeto construído de modo tão estranho e que funciona de modo tão intrincado como o ser humano. Os organismos simples têm menos complexidade e menos o que fazer e, portanto, necessitam de menor quantidade de informação genética. As sondas Viking, lançadas a Marte em 1976, tinham instruções programadas em seus computadores chegando a alguns milhões de bits. Assim, a Viking possuía ligeiramente mais "informação genética" que uma bactéria, mas consideravelmente menos que uma alga.

O gráfico seguinte também mostra a quantidade mínima de informação genética no ADN de diversas formas de vida. A quantidade mostrada para os mamíferos é menor do que a dos seres humanos, pois a maioria dos mamíferos possui menos informação genética do que os seres humanos. Dentro de certas divisões taxonômicas – os anfíbios, por exemplo –, a quantidade de informação genética varia amplamente de espécie para espécie e acredita-se que grande parte desse ADN seja redundante ou destituída de função. Esse é o motivo pelo qual o gráfico exibe a quantidade *mínima* de ADN para determinada forma de vida.



Evolução do conteúdo de informação nos genes e nos cérebros no evolver da história da vida na Terra. A curva cheia, acompanhada dos pontos cheios, representa o número de bits de informação contido nos genes de diversas divisões taxonômicas, cuja época aproximada de origem no registro geológico também é apresentada. Em virtude de variações na quantidade de ADN por célula para determinadas divisões taxonômicas, mostramos somente o conteúdo do mínimo de informação para determinada divisão; os dados foram extraídos do trabalho de Britten e Davidson (1969). A curva pontilhada, acompanhada dos pontos vazados, é uma estimativa aproximada da evolução da quantidade de informação nos cérebros e nos sistemas nervosos desses animais. A informação nos cérebros de anfíbios e de animais ainda inferiores situa-se fora da margem esquerda da figura. O número de bits de informação contido no material genético dos vírus é apresentado, mas não se sabe ao certo se os vírus tiveram origem há vários bilhões de anos. É possível que tenham surgido mais recentemente, através da perda de função de bactérias ou outros organismos mais elaborados. Caso fosse incluída a informação extra-somática dos seres humanos (bibliotecas, etc.), esse ponto situar-se-ia muito além da borda direita do gráfico.

Vemos pelo gráfico que houve uma acentuada melhora no conteúdo de informação dos organismos que habitavam a Terra há uns 3 bilhões de anos e um lento aumento de informação genética daí por diante. Também vemos que se mais de algumas dezenas de bilhões de *bits* (várias vezes 10^{10}) de informação são necessárias para a sobrevivência humana, os sistemas extragenéticos terão de fornecê-los: o índice de desenvolvimento de sistemas genéticos é tão lento que não se pode buscar qualquer fonte de tal informação biológica adicional no ADN.

A matéria-prima da evolução são as mutações, alterações herdáveis, nas sequências de nucleotídios que determinam as instruções hereditárias na molécula de ADN. As mutações são causadas pela radiatividade ambiente, pelos raios cósmicos vindos do espaço, ou, como frequentemente ocorre, ao acaso – por rearranjos espontâneos dos nucleotídios que estatisticamente têm de ocorrer esporadicamente. As ligações químicas se desfazem espontaneamente. As mutações também são, até certo ponto, controladas pelo próprio organismo. Este tem a capacidade de corrigir certos tipos de danos estruturais ocorridos no ADN. Existem, por exemplo, moléculas que vigiam o ADN no tocante a lesões; quando determinada alteração flagrante no ADN é descoberta, ela é cortada por uma espécie de tesoura molecular e o ADN é reconstituído corretamente. Mas esses consertos não são e não devem ser totalmente eficientes: as mutações são necessárias para a evolução. Uma mutação que ocorre em uma molécula de ADN de um cromossoma de uma célula da pele de meu dedo indicador não influi sobre a hereditariedade. Os dedos não estão implicados, pelo menos diretamente, na propagação da espécie. O que conta são as mutações nos gametas – óvulos e espermatozoides – que representam os agentes de reprodução sexual.

As mutações acidentais úteis proporcionam material de trabalho para a evolução biológica – como, por exemplo, uma mutação da melanina em certas traças, que muda sua cor do branco para o preto. Essas traças comumente repousam sobre bétulas inglesas nas quais sua coloração branca proporciona camuflagem protetora. Sob tais condições, a mutação melanínica não constituiu uma vantagem – as traças escuras são perfeitamente visíveis e devoradas por pássaros; a mutação seleciona desfavoravelmente. Mas quando a Revolução Industrial veio cobrir a casca das bétulas com fuligem, a situação foi revertida e somente as traças com a mutação melanínica sobreviveram. Então a mutação é selecionada favoravelmente e dentro de certo tempo quase todas as traças eram escuras, passando essa transformação hereditária para as gerações futuras. Existem ainda mutações inversas eventuais que eliminam a adaptação da melanina, e que seriam benéficas para as traças se a poluição industrial fosse controlada. Observe-se que em toda essa interação entre a mutação e a seleção natural, a traça não faz um *esforço* consciente para se adaptar ao ambiente transformado. O processo se fez ao acaso e de forma estatística.

Os organismos grandes como os seres humanos apresentam, em média, uma mutação para cada dez gametas – ou seja, existe a probabilidade de 10 por cento de que qualquer espermatozoide ou óvulo produzido possua uma alteração nova e hereditária nas instruções genéticas que determinam a formação da geração

seguinte. Essas mutações ocorrem ao acaso e são quase uniformemente deletérias – é raro que uma máquina de precisão seja aperfeiçoada por uma alteração aleatória nas instruções de sua fabricação.

Tais mutações, em sua maioria, também são recessivas – elas não se manifestam imediatamente. Contudo, já existe um índice de mutação tão elevado que, como diversos biólogos sugeriram, um complemento maior de ADN genético acarretaria índices inaceitavelmente altos de mutação: ocorreriam demasiados erros com grande frequência se tivéssemos mais genes[2]. Se isso é verdadeiro, é preciso que haja um limite superior prático para a quantidade de informação genética que o ADN dos organismos maiores pode acomodar. Por conseguinte, os organismos grandes e complexos, pelo simples fato de existirem, têm de contar com recursos substanciais de informação extragenética. Essa informação está contida, em todos os animais superiores, à exceção do homem, quase que exclusivamente no cérebro.

Qual é o conteúdo de informação do cérebro? Consideremos dois pólos opostos e extremos de opinião sobre a função cerebral. Sob um ponto de vista, o cérebro, ou pelo menos suas camadas externas, o córtex cerebral, é equipotente: qualquer parte sua pode ser substituída por outra qualquer, e não há localização de função. Sob outro ponto de vista, o cérebro é completamente interligado: as funções cognitivas específicas localizam-se em determinados locais no cérebro. O esquema do computador sugere que a realidade se encontra em algum ponto entre esses dois extremos. Por um lado, qualquer visão não-mística da função cerebral deve estabelecer a conexão da fisiologia com a anatomia; determinadas funções cerebrais devem estar ligadas a determinados padrões neurais ou outra arquitetura cerebral. Por outro lado, para garantir a precisão e para proteger contra acidentes, esperaríamos que a seleção natural elaborasse considerável redundância na função cerebral. Isso também é esperado de acordo com a via evolutiva mais provável do cérebro.

A redundância do armazenamento da memória foi claramente demonstrada por Karl Lashley, um neuropsiquiatra de Harvard que extirpou cirurgicamente frações consideráveis do córtex cerebral de ratos sem afetar praticamente a memória do comportamento, anteriormente aprendido, de percorrer labirintos. A partir dessa experiência, torna-se claro que a mesma lembrança deve localizar-se em muitos pontos diferentes do cérebro, e agora sabemos que algumas lembranças são transmitidas de um hemisfério cerebral para outro através de um conduto denominado corpo caloso.

Lashley também relatou a ausência de mudança aparente no comportamento geral de um rato quando consideráveis frações — digamos, 10 por cento — de seu cérebro foram extirpadas. Mas ninguém perguntou ao rato sua opinião. A pesquisa

2 Até certo ponto, o índice de mutação é controlado por si mesmo através da seleção natural, tal como exemplificamos na “tesoura molecular”. Mas é provável que haja um índice de mutação mínimo irredutível (1) de forma a produzir experiências genéticas suficientes para a seleção natural atuar e (2) como um equilíbrio entre mutações produzidas (pelos raios cósmicos, por exemplo) e os possíveis mecanismos celulares de reparo mais eficientes.

adequada desse aspecto exigiria um estudo pormenorizado do comportamento social, alimentar e predatório do rato. Existem muitas mudanças de comportamento cabíveis resultantes de tais extirpações que poderiam não ser imediatamente evidentes para o cientista despreocupado, mas que poderiam ter considerável importância para o rato — tal como a quantidade de interesse, após a extirpação, provocado por uma rata atraente, ou o grau de indiferença manifestado ante a presença de um gato à espreita[3].

Questiona-se às vezes se a seção ou se lesões em partes importantes do córtex cerebral do homem — como é o caso da lobotomia pré-frontal bilateral cirúrgica ou por acidente — exercem pouco efeito sobre o comportamento. Acontece que algumas espécies de comportamento humano não são muito aparentes do ponto de vista externo, ou mesmo interno. Existem percepções e atividades humanas que podem ocorrer apenas raramente, tal como a criatividade. A associação de ideias envolvidas em atos — mesmo os pequenos — de caráter criativo parece implicar substanciais investimentos dos recursos cerebrais. Esses atos criativos, na verdade, caracterizam toda a nossa civilização e a humanidade como espécie. Contudo, em muitas pessoas eles só ocorrem raramente e sua ausência pode passar despercebida pelo indivíduo lesado e pelo médico pesquisador.

Muito embora seja inevitável uma considerável redundância na função cerebral, pode-se dizer quase com certeza que a hipótese da equipotência está errada e quase todos os neurofisiologistas contemporâneos a rejeitam. Por outro lado, uma hipótese de equipotência atenuada — a qual sustenta, por exemplo, que a memória é uma função do córtex cerebral como um todo — não é tão prontamente descartada, embora esteja sujeita a verificação, como veremos adiante.

Existe uma crença popular de que metade (ou mais) do cérebro não é utilizada. Do ponto de vista evolutivo, isso seria absolutamente extraordinário: por que teria evoluído se não tivesse função? Na verdade, a afirmação é feita com muito pouca base. Também aqui, a dedução resulta do fato de muitas lesões cerebrais, geralmente do córtex, não traduzirem efeito visível sobre o comportamento. Esse ponto de vista não leva em consideração (1) a possibilidade de função redundante; e (2) o fato de que alguns aspectos do comportamento humano são sutis. Por exemplo, as lesões do hemisfério direito do córtex cerebral podem levar a um prejuízo do pensamento e da ação, mas no campo não-verbal, que é, por definição, difícil de ser descrito pelo paciente ou pelo médico.

Existem também consideráveis indícios para a localização da função cerebral. Descobriu-se que determinadas regiões cerebrais abaixo do córtex estão relacionadas com o apetite, o equilíbrio, a regulação térmica, a circulação do sangue, a precisão dos movimentos e a respiração. Um estudo clássico da função cerebral superior é o trabalho do neurocirurgião canadense Wilder Penfield sobre a estimulação elétrica de várias partes do córtex cerebral, geralmente na tentativa de aliviar

3 A propósito, para testar a influência dos desenhos animados na vida ocidental, tente reler este parágrafo, substituindo sempre a palavra “rato” por “camundongo” e verifique como, subitamente, aumenta sua solidariedade pelo animal cirurgicamente atacado e mal compreendido.

sintomas de uma doença como a epilepsia psicomotora. Os pacientes relataram um vislumbre de memória, um cheiro sentido no passado, um som ou traço colorido — todos provocados por uma pequena corrente elétrica aplicada em determinado ponto do cérebro.

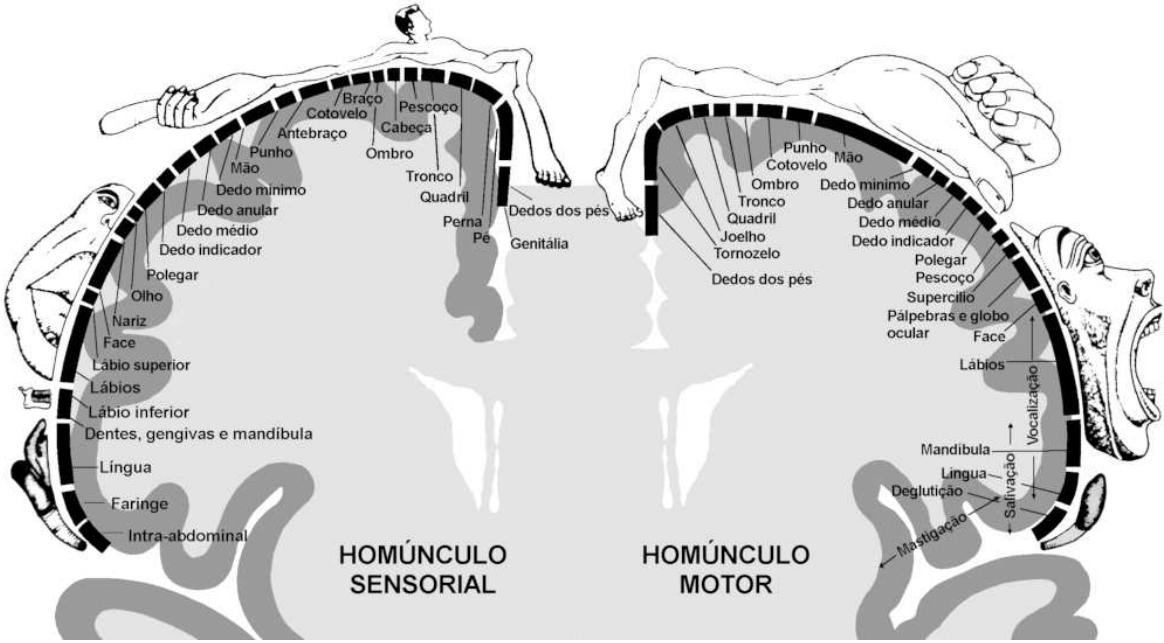
Em um caso típico, um paciente podia ouvir uma composição orquestrada com todas as minúcias quando a corrente fluía através do eletrodo de Penfield para o córtex cerebral do paciente exposto após craniotomia. Se Penfield indicasse ao paciente — o qual normalmente se encontrava em perfeita consciência durante esses procedimentos — que estava estimulando o córtex, quando na verdade não estava, invariavelmente o paciente não relatava qualquer vestígio de memória naquele momento. Mas quando, sem notar, a corrente fluía através do eletrodo para o córtex, surgia ou permanecia um laivo de memória. O paciente podia referir-se a um toque ou a uma sensação de familiaridade, ou ter a repetição completa de uma experiência vivida há muitos anos em sua mente, e ao mesmo tempo, mas sem conflito, estar perfeitamente consciente de se encontrar em uma sala de cirurgia conversando com o médico. Embora alguns pacientes tenham descrito essas lembranças como "pequenos sonhos", elas não continham o simbolismo característico da atividade onírica. Tais experiências foram relatadas quase que exclusivamente por epilépticos, e é possivel, embora de forma alguma tenha sido demonstrado, que os não-epilépticos sejam, sob circunstâncias semelhantes, sujeitos a reminiscências perceptivas comparáveis.

Em um caso de estimulação elétrica do lobo occipital, que está ligado à. visão, o paciente informou ter visto uma borboleta voando, e tal era a sensação de realidade que ele estendeu a mão, deitado como estava na mesa de cirurgia, para apanhá-la. Em idêntica experiência realizada com um macaco, o animal examinou cuidadosamente com o olhar um suposto objeto a sua frente, fez um movimento com a mão direita para agarrá-lo e, depois, verificou com aparente espanto sua mão vazia.

A estimulação elétrica — indolor — de pelo menos certa proporção do córtex cerebral humano desencadeia cascatas de lembranças de determinados fatos. Mas a extirpação do tecido cerebral em contato com o eletrodo não apaga a memória. É difícil resistir à conclusão de que, pelo menos no homem, as lembranças estão guardadas em algum ponto do córtex cerebral, à espera de que o cérebro venha recuperá-las através de impulsos elétricos – os quais, é evidente, são comumente gerados dentro do próprio cérebro.

Se a memória fosse uma função do córtex cerebral como um todo – uma espécie de reverberação dinâmica ou de um padrão elétrico de onda estacionária de suas partes constituintes, em vez de arquivada estaticamente em componentes cerebrais separados –, estaria explicada a sobrevivência da memória após lesões cerebrais importantes. Os indícios, entretanto, apontam em outra direção: em experiências realizadas pelo neurofisiologista americano Ralph Gerard na Universidade de Michigan, cricetos (hamsters) eram ensinados a percorrer um labirinto simples e depois eram resfriados até quase o ponto de congelamento em um refrigerador,

como se fosse uma hibernação induzida. As temperaturas eram tão baixas que toda a atividade elétrica detectável nos cérebros dos animais cessou. Se o ponto de vista dinâmico da memória fosse verdadeiro, a experiência deveria ter apagado toda a memória de percorrer labirintos. Mas, após o descongelamento, os cricetos se lembraram. A memória parece localizar-se em pontos específicos do cérebro e a sobrevivência de lembranças após lesões cerebrais maciças deve representar o resultado de armazenamento redundante de percursos mnemônicos em vários locais.



Homúnculo sensorial e motor, segundo Penfield. Estes são dois mapas da especialização de função no córtex cerebral. As imagens distorcidas correspondem à representação de cada parte do corpo no córtex cerebral; quanto maior a parte do corpo na figura, mais importante ela é. À esquerda vemos o mapa da área somática sensorial, a qual recebe informação de impulsos que vão do cérebro para o corpo.
(Copyright © 1948 by Scientific American, Inc.)

Penfield, ampliando as descobertas de pesquisadores anteriores, também verificou uma notável localização da função no córtex motor. Certas partes das camadas externas de nosso cérebro são responsáveis pela emissão de sinais para outras partes específicas do corpo ou pela recepção de sinais provindos das mesmas. Uma versão dos mapas de Penfield do córtex motor e sensorial é mostrada adiante. Reflete, de forma atraente, a importância relativa de várias partes de nosso corpo.A enorme área cerebral dedicada aos dedos (particularmenre ao polegar), a boca e aos órgãos da fala corresponde precisamente àquilo que, na fisiologia humana, através do comportamenro humano, nos destacou da maioria dos outros animais. Nosso aprendizado e nossa cultura jamais se teriam desenvolvido sem a fala; nossa tecnologia e nossos monumentos nunca se teriam criado sem mãos. De certa forma, o mapa do córtex motor representa um retrato preciso de nossa humanidade.

Entretanto, os indícios a favor da localização funcional são agora muito mais fortes do que isso. Em um elegante conjunto de experiências, David Hubel, da Escola de Medicina de Harvard, descobriu a existência de redes de determinadas células cerebrais que respondem seletivamente a linhas percebidas pelo olho em diferentes orientações. Existem células para a linha horizontal, células para a vertical e células para a diagonal, cada uma das quais só é estimulada se linhas com a orientação adequada forem percebidas. Pelo menos certos primórdios do pensamemo abstrato foram assim atribuídos às células do cérebro.

A existência de áreas cerebrais específicas relacionadas com determinadas funções cognitivas, sensoriais ou motoras implica a falta de necessidade de uma perfeita correlação entre a massa cerebral e a inteligência; algumas partes do cérebro são flagrantemente mais importantes que outras. Entre as maiores massas cerebrais registradas encontram-se as de Oliver Cromwell, Ivan Turguêniev e Lorde Byron, todos inteligentes, mas não tanto quanto Albert Einstein. O cérebro de Einstein, por outro lado, não era notavelmente grande. Anatole France, muito mais inteligente que a maioria das pessoas, possuía um cérebro com dimensões equivalentes à metade do de Byron. O bebê humano nasce com uma proporção excepcionalmente alta entre massa cerebral e massa corporal (cerca de 12%); e o cérebro, principalmente o córtex cerebral, continua a crescer rapidamente nos três primeiros anos de vida — o período de mais rápido aprendizado. Aos seis anos de idade, ela constitui 90% da massa cerebral do adulto. A massa cerebral média do homem contemporâneo gira em torno de 1375 gramas. Uma vez que a densidade do cérebro, assim como a de todos os tecidos orgânicos, equivale aproximadamente à da água (1 gr/cm^3), o volume desse cérebro é de mais ou menos 1 375 cm^3, ou pouco menos de 1,5 litro.

Entretanto, o cérebro da mulher contemporânea tem cerca de 150 cm^3 a menos que o do homem. Quando os aspectos culturais e a educação da criança são levados em consideração, não existem indícios concretos de diferenças globais na inteligência entre os sexos. Por conseguinte, a diferença de 150 gramas de massa cerebral nos seres humanos deve ser desprezível. Existem diferenças análogas na massa cerebral entre adultos de diferentes etnias humanas (os orientais, em média, possuem cérebros ligeiramente maiores do que os do homem branco); considerando-se que não foram demonstradas diferenças de inteligência sob condições controladas, segue-se a mesma conclusão. A discrepância entre os tamanhos dos cérebros de Lorde Byron (2 200 gramas) e Anatole France (1 100 gramas) sugere que, neste campo, a diferença de muitas centenas de gramas pode ser irrelevante em termos funcionais.

Por outro lado, os adultos com microcefalia, que nascem com cérebros diminutos, apresentam amplas perdas das capacidades cognitivas; a massa cerebral típica nesses casos varia entre 450 a 900 gramas. Um recém-nascido normal possui, em média, 350 gramas de massa cerebral; com um ano de idade, 500 gramas. É claro que, à medida que consideramos massas cerebrais cada vez menores, chega um

ponto em que esta é tão diminuta que a função é intensamente prejudicada em comparação com a função cerebral do ser humano adulto normal.

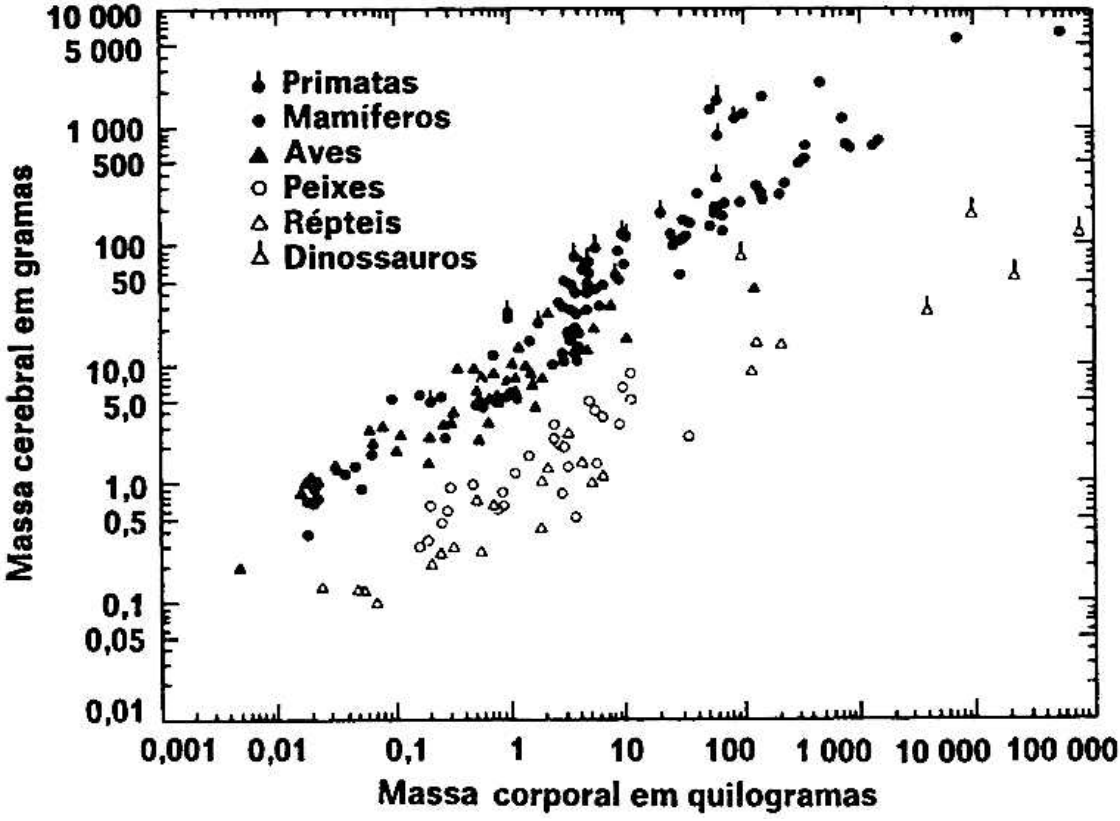
Ademais, existe uma correlação estatística entre a massa ou o tamanho do cérebro e a inteligência nos seres humanos. A relação não é de um para um, como a comparação entre Byron e Anatole France mostra claramente. Não podemos prever a inteligência de uma pessoa, de forma alguma, medindo o tamanho do seu cérebro. Contudo, como demonstrou o biólogo americano Leigh van Valen, especialista em evolução, os dados disponíveis sugerem uma correlação razoavelmente boa entre o tamanho do cérebro e a inteligência. Será que isso significa que o tamanho do cérebro, de certa forma, *provoca* a inteligência? Não é possível, por exemplo, que a desnutrição, particularmente intra-uterina e na primeira infância, determine tanto o pequeno tamanho do cérebro quanto a pouca inteligência, sem relação de causa e efeito? Van Valen assinala que a correlação entre o tamanho do cérebro e a inteligência é muito maior que a correlação entre inteligência e estatura ou peso corporal do adulto, que são incontestavelmente influenciados pela desnutrição, assim como não resta dúvida de que a desnutrição é capaz de reduzir a inteligência. Por conseguinte, à exceção de tais efeitos, parece que até certo ponto um maior tamanho absoluto do cérebro tende a produzir maior inteligência.

Ao explorar um novo território intelectual, os físicos costumam considerar útil a realização de estimativas de ordem de grandeza. Tais estimativas representam cálculos grosseiros que delineiam o problema e servem como guias para estudos futuros. Não têm a pretensão de ser altamente precisas. No aspecto da relação entre o volume cerebral e a inteligência, as possibilidades científicas atuais encontram-se em inteiro descompasso com a determinação funcional de cada centímetro cúbico do cérebro. Mas será que não existe um meio grosseiro e aproximado pelo qual se possam relacionar a massa cerebral e a inteligência?

A diferença de massa cerebral entre os sexos tem interesse precisamente neste contexto, em virtude de as mulheres serem sistematicamente menores e possuírem menor massa corporal que o homem. Com um corpo menor para controlar, não seria mais adequada uma menor massa cerebral? Isso sugere que uma melhor medida da inteligência seria dada pela *relação* existente entre a massa cerebral e a massa corporal total, em vez da massa cerebral absoluta.

O gráfico mostra as massas cerebrais e as massas corporais de vários animais. Há uma notável separação entre os peixes e répteis, e entre as aves e os mamíferos. Para uma *determinada* massa ou peso corporal, os mamíferos possuem massa cerebral consideravelmente mais elevada. O cérebro dos mamíferos apresenta de dez a cem vezes mais massa que o cérebro de répteis contemporâneos de dimensões semelhantes. A discrepância entre os mamíferos e os dinossauros é ainda mais impressionante. Essas são diferenças extraordinariamente grandes e inteiramente sistemáticas. Uma vez que somos mamíferos, provavelmente temos alguns preconceitos quanto à diferença de inteligência entre os mamíferos e os répteis, mas acredito que sejam bastante convincentes os índices de que os

mamíferos são de fato sistematicamente muito mais inteligentes que os répteis. (Também existe uma intrigante exceção: uma pequena classe de dinossauros semelhantes ao avestruz, do final do Período Cretáceo, cuja relação massa cerebral/massa corporal a coloca exatamente na região do diagrama ocupada, de resto, exclusivamente por pássaros grandes e mamíferos menos inteligentes. Seria interessante conhecer mais acerca dessas criaturas que foram estudadas por Dalle Russell, chefe da Divisão de Paleontologia dos Museus Nacionais do Canadá.) Também podemos observar no gráfico que os primatas, uma divisão taxonômica que abrange o homem, estão separados, porém menos sistematicamente, do resto dos mamíferos; o cérebro dos primatas tem, em média, mais massa (na proporção de mais ou menos dois para vinte) que os cérebros dos mamíferos não-primatas com a mesma massa corporal.



Um diagrama da dispersão da massa cerebral versus massa corporal em relação aos primatas, mamíferos, aves, peixes, répteis e dinossauros. O diagrama foi adaptado do trabalho de Jerison (1973) com o acréscimo de alguns pontos referentes aos dinossauros e a alguns membros agora extintos da família do homem.

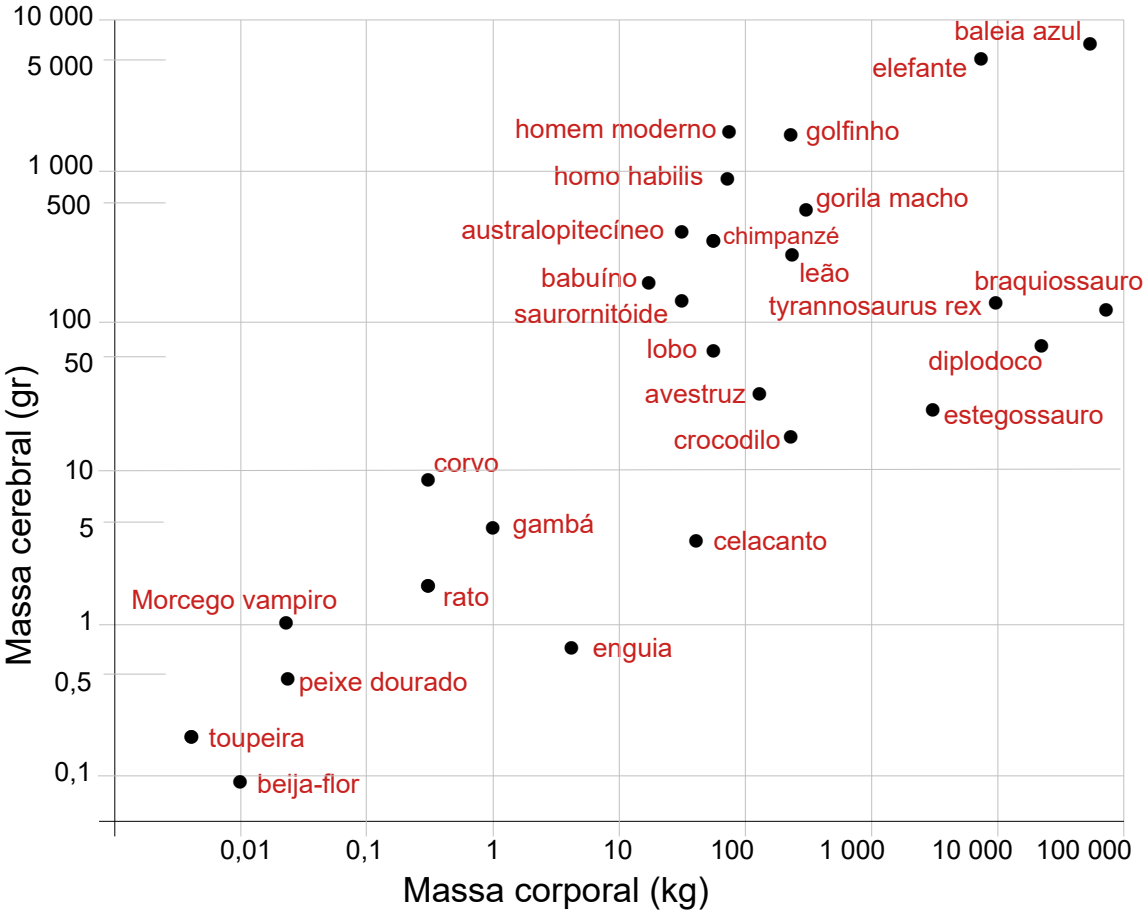
Quando examinamos mais de perto este gráfico, isolando uma série de animais, vemos o resultado no gráfico seguinte. De todos os organismos mostrados, a criatura com maior massa cerebral em relação a seu peso corporal é a denominada *Homo sapiens*. O próximo nesta escala é o golfinho[4]. Novamente aqui não acho que seja chauvinismo concluir, a partir da observação de seu comportamento, que os seres humanos e os golfinhos estão pelo menos entre os organismos mais inteligentes da Terra.

Aristóteles já percebera a importância dessa relação entre massa cerebral e massa corporal. Seu principal expoente moderno tem sido Harry Jerison, um neuropsiquiatra da Universidade da Califórnia, em Los Angeles. Jerison assinala que existem algumas exceções em nossa correlação — o musaranho pigmeu europeu, por exemplo, possui uma massa cerebral de 100 miligramas e massa corporal de 4 700 gramas, o que lhe confere uma relação de massa dentro da faixa de variação humana. Não podemos, no entanto, esperar que a correlação da razão das massas com a inteligência se aplique aos animais menores, uma vez que as mais simples funções de "governo" do cérebro exigem um mínimo de massa cerebral.

A massa cerebral de um cachalote adulto, um parente próximo do golfinho, representa quase 9 000 gramas, seis vezes e meia a do homem, em média. É incomum quanto à massa cerebral total, mas não (compare com a figura seguinte) quanto à relação do cérebro com o peso corporal. Mesmo assim, os maiores dinossauros possuíam cérebros com peso equivalente a um por cento daqueles dos cachalotes. O que é que a baleia faz com tanta massa cerebral? Existiriam pensamentos, perspectivas, artes, ciências e lendas no mundo dos cachalotes?

O critério de massa cerebral em relação à massa corporal, que não abrange considerações de comportamento, parece proporcionar um índice muito útil da inteligência relativa de animais bastante diferentes. É algo que o físico pode descrever como uma primeira aproximação aceitável. (Observe-se, para referência futura, que o *Australopithecus*, que foi um ancestral do homem ou pelo menos parente colateral próximo, também possuía um cérebro grande em relação ao peso corporal; isso foi determinado através de moldes tirados de caixas cranianas fossilizadas.) Eu me pergunto se o misterioso encanto dos bebês e de outros pequenos mamíferos — com cabeças relativamente grandes em comparação com os adultos da mesma espécie — provém de nossa percepção inconsciente da importância da relação entre as massas cerebral e corporal.

4 Pelo critério de massa cerebral em relação à massa corporal, os tubarões são os peixes mais inteligentes, o que vem a ser compatível com seu nicho ecológico — os predadores têm de ser mais inteligentes que os seres do plâncton. Tanto sob o aspecto da razão crescente entre a massa cerebral e a corporal quanto do desenvolvimento de centros coordenadores nos três principais componentes de seus cérebros, os tubarões evoluem de uma forma curiosamente paralela à evolução dos vertebrados superiores terrestres.



Visão mais aproximada de alguns dos pontos mostrados no diagrama anterior. O saurornitoide é o dinossauro semelhante ao avestruz mencionado no texto.

Os dados apresentados até agora nesta exposição sugerem que a evolução dos mamíferos a partir dos répteis, há mais de 200 milhões de anos, fez-se acompanhar de um grande aumento do tamanho relativo do cérebro e da inteligência, e que a evolução dos seres humanos a partir de primatas não-humanos, há alguns milhões de anos, foi acompanhada de um desenvolvimento ainda mais intenso do cérebro.

O cérebro humano (sem contar o cerebelo, que não parece estar envolvido nas funções cognitivas) contém cerca de 10 bilhões de elementos denominados neurônios. (O cerebelo, que se situa abaixo do córtex cerebral, na direção dorsal da cabeça, contém aproximadamente outros 10 bilhões de neurônios.) As correntes elétricas geradas pelos neurônios ou células nervosas ou através deles foram os meios pelos quais o anatomista italiano Luigi Galvani descobriu a eletricidade. Galvani descobrira que os impulsos elétricos podiam percorrer as pernas de rãs, as

quais obedientemente se contraíam; e tornou-se popular a ideia de que a movimentação animal ("animação") era, em última análise, causada pela eletricidade. Isso corresponde, na melhor das hipóteses, a uma verdade parcial: os impulsos elétricos transmitidos ao longo das fibras nervosas, através de mediadores neuroquímicos, realmente iniciam movimentos tais como a articulação de membros, mas os impulsos são gerados no cérebro. Entretanto, tanto a moderna ciência da eletricidade quanto as indústrias elétricas e eletrônicas encontram suas origens nas experiências do século XVIII a respeito da estimulação elétrica de contrações em rãs.

Somente algumas décadas depois de Galvani, um grupo de literatos ingleses, imobilizados nos Alpes pela inclemência do mau tempo, estabeleceu uma competição para escrever um trabalho de ficção de horror absoluto. Um dos participantes, Mary Wollstonecraft Shelley, elaborou o famoso conto do monstro fabricado pelo Dr. Frankenstein, que adquiriu vida através da aplicação de correntes elétricas maciças. Aparelhos elétricos têm sido uma constante nos romances góticos e filmes de horror, desde então. A ideia essencial é de Galvani, e é ilusória, mas o conceito insinuou-se em muitas línguas ocidentais — como, por exemplo, quando digo que me sinto galvanizado ao escrever este livro.

Os neurobiologistas, em sua maioria, acreditam que os neurônios sejam os elementos ativos na função cerebral, embora haja indícios de que algumas lembranças específicas e outras funções cognitivas estejam contidas em determinadas moléculas do cérebro, tais como o ARN (ácido ribonucleico) ou proteínas pequenas. Para cada neurônio do cérebro existem aproximadamente dez células gliais (nome originado da palavra grega que quer dizer cola) que proporcionam a sustentação da arquitetura neuronal. Um neurônio em um cérebro humano faz entre mil e 10 000 sinapses ou ligações com neurônios adjacentes. (Muitos neurônios da medula espinhal parecem fazer cerca de 10 000 sinapses, e as chamadas células de Purkinje, do cerebelo, podem fazer até mais. O número de ligações dos neurônios no córtex é provavelmente inferior a 10 000.)

Se cada sinapse responde através de uma resposta sim/não única a uma pergunta elementar, à semelhança dos elementos contidos nos computadores eletrônicos, o número máximo de resposta sim/não ou bits de informação que o cérebro pode conter é aproximadamente 10^{10} x 10^{3} = 10^{13}, ou 10 trilhões de bits (ou 100 trilhões = 10^{14} bits se tivéssemos considerado 10^{4} sinapses para cada neurônio). Algumas dessas sinapses devem conter a mesma informação contida em outras sinapses; algumas devem estar relacionadas a funções motoras e outras funções não-cognitivas; e outras podem estar simplesmente vagas, esperando a informação de um novo dia para entrar em ação.

Se cada cérebro humano só fizesse uma sinapse — correspondente a uma estupidez monumental — seríamos capazes de apenas dois estados mentais. Se tivéssemos duas sinapses, 2^{2} = quatro estados, três sinapses, 2^{3} = oito estados, e em geral, para **n** sinapses, 2^{n} estados. Mas o cérebro humano é caracterizado por

umas 10^{13} sinapses. Por conseguinte, o número de diferentes estados de um cérebro humano equivale a 2 elevado a essa potência — ou seja, multiplicado por ele mesmo 10 trilhões de vezes. Esse é um número inconcebivelmente grande, muito maior, por exemplo, do que o número total de partículas elementares (elétrons e prótons) em todo o universo, que é muito menor do que 2 elevado à potência 10^{13}. É em virtude desse imenso número de configurações funcionalmente diferentes do cérebro humano que dois seres humanos, mesmo que sejam gêmeos idênticos, jamais poderão ser muito parecidos. Esses números enormes também podem explicar algo da imprevisibilidade do comportamento humano e daqueles momentos que surpreendem até nós mesmos pelo que fizemos. De fato, em face desses números, o espantoso seria a existência de regularidade no comportamento humano. A resposta deve ser que de forma alguma estão ocupados todos os estados cerebrais possíveis; deve existir um número enorme de configurações mentais que jamais foram introduzidas ou sequer vislumbradas por qualquer ser humano na história da humanidade. Sob essa perspectiva, cada ser humano é realmente raro e diferente, sendo a santidade de cada vida humana uma consequência ética plausível.

Nos últimos anos, tem-se tornado clara a existência de microcircuitos no cérebro. Nesses microcircuitos, os neurônios constituintes são capazes de uma variedade muito maior de respostas do que o simples "sim" ou "não" dos elementos comutadores contidos nos computadores eletrônicos. Os microcircuitos têm dimensões muito reduzidas (as dimensões típicas são da ordem de 1 / 10 000 de centímetro) e são portanto capazes de processar os dados muito rapidamente. Eles respondem a cerca de um centésimo da voltagem necessária para estimular os neurônios comuns, sendo, por conseguinte, capazes de respostas muito mais elaboradas e sutis. Tais microcircuitos parecem aumentar em número de maneira compatível com nossas noções habituais a respeito da complexidade de um animal, atingindo sua máxima proliferação, tanto em termos absolutos quanto relativos, nos seres humanos. Também se desenvolvem tardiamente na embriologia humana. A existência desses microcircuitos sugere que a inteligência pode ser o resultado não apenas da importância da relação entre as massas do cérebro e do corpo, mas também da abundância de elementos comutadores no cérebro. Os microcircuitos tornam o número de estados cerebrais possíveis ainda maior que o que calculamos no parágrafo anterior, e assim corroboram ainda mais a espantosa singularidade de cada cérebro humano.

Podemos abordar o tema do conteúdo de informação do cérebro humano de uma forma bastante diferente — introspectivamente. Tente imaginar alguma lembrança visual, por exemplo, de sua infância. Observe-a bem de perto com o "olho" de sua mente. Imagine-a composta de um conjunto de finos pontos como uma fotografia de jornal. Cada ponto possui certa cor e brilho. Agora você deve indagar quantos bits de informação são necessários para caracterizar a cor e o brilho de cada ponto; quantos pontos compõem a imagem rememorada; e quanto tempo leva para lembrar todos os pormenores da imagem. Nesta retrospectiva,

você focaliza uma parte muito pequena da imagem em um determinado momento; seu campo visual é bastante restrito. Quando encontrar todos esses números, você chega ao índice de informação processado pelo cérebro em bits por segundo. Quando faço um cálculo desse tipo, verifico um índice máximo de processamento em torno de 5 000 bits por segundo[5].

Mais comumente, essas rememorações visuais concentram-se nos contornos das formas e nas alterações bruscas de brilhante para escuro, e não na configuração de áreas de brilho em grande parte neutras. A rã, por exemplo, vê com grande predomínio na direção dos gradientes de brilho. Entretanto, existem consideráveis indícios de que a lembrança pormenorizada dos interiores, e não apenas os contornos das formas, é razoavelmente comum. Talvez o caso mais contundente seja uma experiência com seres humanos em uma construção estereoscópica de uma imagem tridimensional, usando um padrão evocado por um olho e um padrão sendo visto pelo outro. A fusão de imagens nesse anáglifo requer a memória de 10 000 elementos pictóricos. Mas eu não estou relembrando imagens visuais durante todo o meu tempo de vigília, nem estou submetendo continuamente as pessoas e os objetos a uma intensa e cuidadosa investigação. Faço isso talvez durante uma pequena porcentagem de tempo. Meus outros canais de informação — auditivos, táteis, olfativos e gustativos — são envolvidos com índices de transferência muito menores. Concluo que o índice médio de dados processados pelo meu cérebro gira em torno de (5 000 / 50) = 100 bits por segundo. No decorrer de sessenta anos, isso corresponde a 2×10^{11} ou 200 bilhões de bits no total, inseridos na memória visual, ou de outra natureza, caso eu tenha memória perfeita. Esse número é menor, porém não muito menor, que o número de sinapses ou de conexões neurais (uma vez que o cérebro tem mais o que fazer além de simplesmente lembrar) e sugere que os neurônios são realmente elementos importantes na função cerebral.

5 A visão de um horizonte ao outro compreende um ângulo de 180 graus em uma superfície plana. A Lua tem um diâmetro de 0,5 grau. Sei que sou capaz de enxergar pormenores sobre ela, talvez doze elementos pictóricos. Por conseguinte, o poder de resolução de meu olho é de aproximadamente 0,5 / 12 = 0,04 grau. Qualquer coisa menor do que isso é pequena demais para que eu possa vê-la. O campo de visão instantâneo de meu olho mental, assim como de meu olho real, parece girar em torno de 2 graus. Portanto, o pequeno quadrado de imagem que eu posso ver a cada momento contém cerca de $(2 / 0{,}04)^2 = 2\,500$ elementos pictóricos, correspondentes aos pontos de uma fotografia. Para caracterizar todos os matizes de cinza possíveis e as cores de tais pontos há necessidade de aproximadamente 20 bits por elemento pictórico. Assim, a descrição de minha pequena figura requer 2500 x 20 ou cerca de 50 000 bits. Mas o ato de examinar atentamente a figura exige cerca de 10 segundos, e, por conseguinte, meu índice sensorial de processamento de dados provavelmente não excede em muito a 50 000 / 10 = 5 000 bits por segundo. Para fins de compensação, as câmaras do trem de pouso do projeto Viking, que também têm uma resolução de 0,04 grau, possuem apenas 6 bits por elemento pictórico para caracterizar brilho e são capazes de transmitir essas informações diretamente para a Terra pelo rádio na velocidade de 500 bits por segundo. Os neurônios cerebrais geram cerca de 25 watts de potência, o que mal dá para acender uma pequena lâmpada incandescente. O trem de pouso da Viking transmite mensagens de rádio e executa todas as outras funções com uma potência total de aproximadamente 50 watts.

Uma notável série de experiências sobre as transformações cerebrais durante o aprendizado foi realizada pelo psicólogo americano Mark Rosenzweig e seus colaboradores da Universidade da Califórnia, em Berkeley. Eles criaram duas populações diferentes de ratos de laboratório — uma em ambiente enfadonho, repetitivo, empobrecido; a outra em ambiente variado, estimulante, enriquecido. O último grupo mostrou um acentuado aumento na massa e na espessura do córtex cerebral, assim como alterações concomitantes na química cerebral. Esses aumentos ocorreram tanto nos animais maduros quanto nos jovens. Tais experiências demonstram que alterações fisiológicas acompanham a experiência intelectual e mostram como a plasticidade pode ser anatomicamente controlada. Uma vez que o córtex cerebral com mais massa pode tornar mais fácil o aprendizado futuro, a importância do ambiente enriquecido está claramente delineada.

Isso significa que o novo aprendizado corresponde à geração de novas sinapses ou à ativação das antigas, já decadentes. Uma prova preliminar compatível com esse ponto de vista foi obtida pelo neuranatomista americano William Greenough, da Universidade de Illinois, e seus colaboradores. Eles descobriram que, após várias semanas de aprendizado de novas tarefas em laboratório, os ratos desenvolveram o tipo de ramificações neurais no córtex que formam sinapses. Outros ratos, criados da mesma forma porém sem educação comparável, não exibiram tais aquisições anatômicas. A construção de novas sinapses requer a síntese de proteína e de moléculas de ARN. Existem indícios suficientes mostrando que essas moléculas são produzidas no cérebro durante o aprendizado e alguns cientistas sugeriram que o aprendizado está contido nas proteínas ou no ARN cerebrais. Contudo, parece mais provável que a nova informação esteja contida nos neurônios, que são por sua vez constituídos de proteínas e de ARN.

Qual a densidade da informação armazenada no cérebro? Uma densidade de informação típica, durante a operação de um moderno computador, situa-se próximo de um milhão de bits por centímetro cúbico. Este é o conteúdo total de informação do computador dividido por seu volume. O cérebro humano contém, como já dissemos, cerca de 10^{13} bits em um volume pouco maior do que 10^{3} centímetros cúbicos, para um conteúdo de informação de $10^{13} / 10^{3} = 10^{10}$, aproximadamente 10 bilhões por centímetro cúbico; o cérebro é, por conseguinte, 10 000 vezes mais concentrado em termos de informação do que o computador, embora o computador seja muito maior. Vamos considerar a coisa de outra forma. Um computador moderno, para ser capaz de processar a informação contida no cérebro humano, teria de ter um volume cerca de 10 000 vezes maior que o do cérebro humano. Por outro lado, os computadores eletrônicos modernos são capazes de processar informação em uma velocidade de 10^{16} a 10^{17} bits por segundo, sendo essa velocidade 10 bilhões de vezes menor no cérebro. O cérebro deve ser extraordinariamente bem engendrado e interligado, com um conteúdo de informação total tão pequeno e uma velocidade de processamento tão lenta, para ser capaz de realizar tantas tarefas importantes de modo tão melhor do que o mais aperfeiçoado computador.

O número de neurônios de um cérebro animal não duplica à medida que duplica o próprio volume cerebral. Ele aumenta de modo mais lento. Um cérebro humano com um volume de mais ou menos 1 375 cm^3 contém, como já dissemos, sem contar o cerebelo, cerca de 10 bilhões de neurônios e uns 10 trilhões de bits. Recentemente, num laboratório no Instituto Nacional de Saúde Mental, próximo a Bethesda, Maryland, tive em minhas mãos o cérebro de um coelho. Possuía um volume aproximado de 30 cm^3, do tamanho de um rabanete médio, correspondente a algumas centenas de milhões de neurônios e algumas centenas de bilhões de bits — o que controlava, entre outras coisas, o roer da alface, as contrações do focinho e as atividades sexuais dos coelhos adultos.

Uma vez que categorias animais como mamíferos, répteis ou anfíbios comportam membros com diferentes tamanhos de cérebros, não podemos obter uma estimativa fidedigna do número de neurônios no cérebro de um representante típico de cada categoria. Podemos, no entanto, calcular valores médios, e foi isso que fiz no gráfico da página **17** deste capítulo. A estimativa grosseira lá representada mostra que o ser humano possui cerca de cem vezes mais bits de informação em seu cérebro do que o coelho. Não sei se é muito correto dizer que um ser humano é cem vezes mais inteligente que um coelho, mas não estou bem certo de que seja uma afirmação ridícula. (Não se conclui, evidentemente, que cem coelhos juntos sejam tão inteligentes quanto um ser humano.)

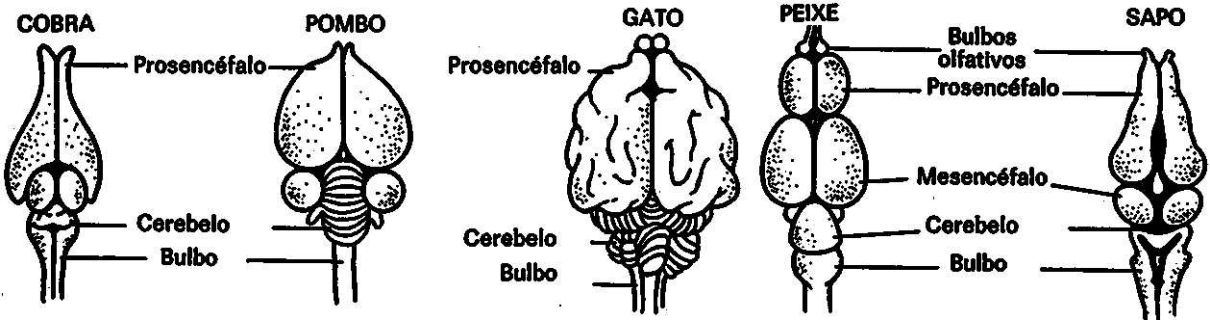
Podemos agora comparar o aumento gradual, através do tempo, tanto da quantidade de informação contida no material genético quanto da quantidade de informação contida nos cérebros. As duas curvas se cruzam (pg. 17) em uma época correspondente a alguns milhões de anos atrás e com um conteúdo de informação correspondente a alguns bilhões de bits. Em algum lugar nas selvas escaldantes do Período Carbonífero emergiu um organismo que, pela primeira vez na história do mundo, possuía mais informação em seu cérebro do que em seus genes. Era um réptil primitivo que, se estivéssemos lá naquele tempo, provavelmente não consideraríamos muito inteligente. Mas seu cérebro representava uma virada simbólica na história da vida. Os dois surtos subsequentes de evolução cerebral, acompanhando o surgimento de mamíferos e o advento dos primatas semelhantes ao homem, foram avanços ainda mais importantes na evolução da inteligência. Grande parte da história da vida, desde o Período Carbonífero, pode ser descrita como o domínio gradual (e certamente incompleto) dos cérebros sobre os genes.

III O cérebro e a carroça

Quando nós três nos encontraremos de novo...?

William Shakespeare
Macbeth

O cérebro do peixe não é grande coisa. O peixe possui uma notocorda ou medula espinhal, a qual compartilha com invertebrados ainda inferiores. O peixe primitivo tem também uma pequena saliência na extremidade frontal da medula espinhal, que é seu cérebro. Nos peixes superiores, a saliência é um pouco mais desenvolvida, mas, mesmo assim, não pesa mais que 1 ou 2 gramas. Essa saliência corresponde, nos animais superiores, ao rombencéfalo ou tronco cerebral e ao mesencéfalo. O cérebro dos peixes modernos é constituído principalmente pelo mesencéfalo, com um diminuto prosencéfalo; nos anfíbios e répteis atuais, ocorre exatamente o oposto (ver figura). E mesmo assim os moldes internos dos fósseis vertebrados mais primitivos que se conhecem revelam que as principais divisões do cérebro moderno (rombencéfalo, mesencéfalo e prosencéfalo, por exemplo) já estavam estabelecidas. Há 500 milhões de anos, nadando nos mares primitivos, viviam criaturas semelhantes a peixes, chamadas ostracodermos e placodermos, cujos cérebros tinham reconhecidamente as mesmas divisões gerais dos nossos. O tamanho relativo e a importância desses componentes, contudo, e mesmo suas funções primitivas, eram certamente muito diferentes dos de hoje. Um dos aspectos mais fascinantes da evolução subsequente do cérebro é a história dos acréscimos sucessivos e da especialização de três camadas adicionais que envolvem a medula espinhal, o rombencéfalo e o mesencéfalo. Após cada etapa evolutiva, as porções mais antigas do cérebro subsistem e precisam ainda ser acomodadas. Mas uma nova camada, com novas funções, foi acrescida.



Diagramas esquemáticos comparando os cérebros de um peixe, de um anfíbio, de um réptil, de uma ave e de um mamífero. O cerebelo e o bulbo fazem parte do rombencéfalo.

O principal expoente contemporâneo do estudo desse aspecto é Paul MacLean, diretor do Laboratório de Evolução e Comportamento Cerebral do Instituto Nacional de Saúde Mental. Uma característica fundamental do trabalho de MacLean é que ele

encerra muitos animais diferentes, abrangendo desde lagartos até macacos-de-cheiro. Outra é que ele e seus colaboradores estudaram cuidadosamente o comportamento social e outros tipos de comportamento desses animais, a fim de aperfeiçoar suas perspectivas de descobrir que parte do cérebro controla que tipo de comportamento.

Os macacos-de-cheiro que possuem certas marcas faciais apresentam uma espécie de ritual ou exibição que executam quando se cumprimentam. Os machos mostram os dentes, sacodem as barras da jaula, emitem um guincho agudo, que é possivelmente aterrorizador para os outros macacos-de-cheiro, e erguem suas pernas para exibir o pênis ereto. Conquanto tal comportamento chegue às raias da descortesia em muitas sociedades humanas contemporâneas, é um ato consideravelmente elaborado e serve para manter as hierarquias de domínio nas comunidades de macacos-de-cheiro.

MacLean descobriu que a lesão de uma pequena parte do cérebro do macaco-de-cheiro evitará essa exibição, deixando íntegra uma grande variedade de outros comportamentos, inclusive o comportamento sexual e combativo. A parte comprometida pertence à porção mais arcaica do prosencéfalo, parte esta que os seres humanos, assim como outros primatas, compartilham com nossos ancestrais mamíferos e répteis. Nos mamíferos não-primatas e nos répteis, o comportamento ritual equivalente parece ser controlado na mesma parte do cérebro, e lesões nesse componente reptiliano podem prejudicar outros tipos de comportamento além do ritual — por exemplo, caminhar ou correr.

A ligação entre exibição sexual e posição na hierarquia de domínio pode ser frequentemente observada entre os primatas. Entre os macacos-japoneses, a classe social é mantida e reforçada por um ritual diário: os machos das castas inferiores adotam a posição sexual submissa característica da fêmea no cio e são, de forma rápida e cerimonial, montados por machos de castas superiores. Essas encenações são ao mesmo tempo comuns e superficiais. Parecem ter pouco conteúdo sexual, mas servem como símbolos de fácil entendimento de quem é quem em uma sociedade complexa.

Em um estudo do comportamento do macaco-de-cheiro, Caspar, o animal dominador na colônia e definitivamente o exibidor mais ativo, nunca foi visto copulando, embora fosse responsável por dois terços da exibição genital na colônia — a maior parte desta dirigida a outros macacos adultos. O fato de Caspar ser altamente motivado a estabelecer domínio, mas pouco motivado a praticar o sexo, sugere que, embora essas duas funções utilizem sistemas orgânicos idênticos, são bastante separadas. Estudando essa colônia, os cientistas concluíram: "A exibição genital é, por conseguinte, considerada o sinal social mais efetivo com respeito à hierarquia do grupo. Tem caráter ritual e parece adquirir o significado: 'Eu sou o chefe'. Origina-se mais provavelmente na atividade sexual, mas é utilizada para a comunicação social e independe da atividade reprodutora. Em outras palavras, a exibição genital é um ritual derivado do comportamento sexual, mas que serve a propósitos sociais e não reprodutores".

Numa entrevista à televisão em 1976, o animador do programa perguntou a um jogador de futebol profissional se era embaraçoso para os jogadores ficarem despidos juntos no vestiário. Sua resposta imediata: **"Nós nos orgulhamos! Embaraço nenhum. É como se estivéssemos dizendo um ao outro: 'Vamos ver o que é que você tem, homem!'"**

As conexões neuranatômicas, assim como as comportamentais, entre sexo, agressão e domínio são inferidas em uma série de estudos. Os rituais de acasalamento dos grande felinos e de muitos outros animais são praticamente indistinguíveis da luta, nas fases iniciais. É comum os gatos domésticos ficarem ronronando (às vezes alto) perversamente, com as garras arranhando o tapete ou a pele humana. O uso do sexo para estabelecer e manter o domínio é por vezes evidente nas práticas humanas heterossexuais e homossexuais (embora não seja, naturalmente, o único elemento em tais práticas), assim como na expressão verbal "obscena". Considere-se o fato peculiar da agressão verbal de duas palavras mais comuns em inglês ("*fuck you*") e que em outras línguas refere-se a um ato de prazer físico transbordante; a forma inglesa provavelmente deriva do verbo alemão *fokken*, que significa "golpear". Esse estranho uso pode ser compreendido como um equivalente verbal da linguagem simbólica dos macacos, com a palavra inicial "eu" não expressa, mas compreendida por ambos os parceiros. Essa e muitas expressões semelhantes parecem ser cópulas humanas cerimoniosas. Como veremos mais adiante, tal comportamento provavelmente remonta a épocas muito anteriores aos macacos, há centenas de milhões de anos na escala geológica.

A partir de experiências como as realizadas com macacos-de-cheiro, MacLean concebeu um modelo cativante da estrutura e da evolução cerebral que ele denomina o cérebro trino. **"Somos obrigados"**, diz ele, **"a nos olhar e a olhar o mundo através dos olhos de três mentalidades bastante diferentes, duas das quais carecem do poder da fala."** O cérebro humano, sustenta MacLean, **"compreende três computadores biológicos interligados"**, cada um com **"sua própria inteligência especial, sua própria subjetividade, seu próprio sentido de tempo e espaço, sua própria memória, suas funções motoras e outras"**. Cada cérebro corresponde a uma etapa evolutiva diferenciada e fundamental. Os três cérebros são sabidamente distintos, em termos neuranatômicos e funcionais, e contêm distribuições acentuadamente diferentes dos neuroquímicos dopamina e colinesterase.

Na parte mais arcaica do cérebro situam-se a medula espinhal, o bulbo e a ponte, que fazem parte do rombencéfalo, e o mesencéfalo. MacLean chama essa combinação de medula espinhal, rombencéfalo e mesencéfalo de chassi neural. Ela contém o mecanismo neural básico para a reprodução e a auto-preservação, abrangendo a regulação cardíaca, a circulação sanguínea e a respiração. No peixe ou no anfíbio, é quase todo o cérebro existente. Mas um réptil ou um animal superior destituído de seu prosencéfalo é, de acordo com MacLean, **"tão imóvel e sem objetivo como um veículo sem motorista"**.

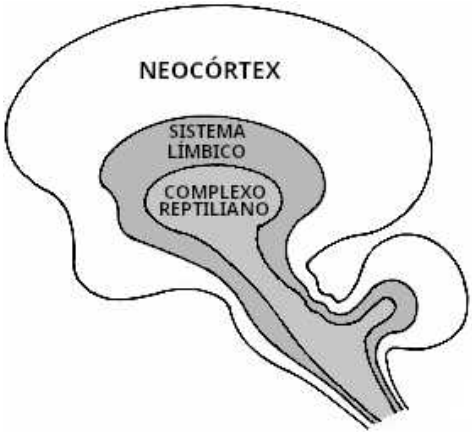
Realmente, a epilepsia do tipo *grande mal* pode, acredito, ser descrita como uma doença na qual todos os condutores cognitivos estão fora de ação, em virtude

de uma espécie de tempestade elétrica no cérebro, e a vítima fica momentaneamente sem qualquer comando, a não ser o exercido por seu chassi neural. Esse é um profundo distúrbio, que faz regredir temporariamente a vítima a várias centenas de milhões de anos. Os antigos gregos, de quem conservamos o nome dado à doença, reconheceram sua natureza profunda e a consideravam infligida pelos deuses.

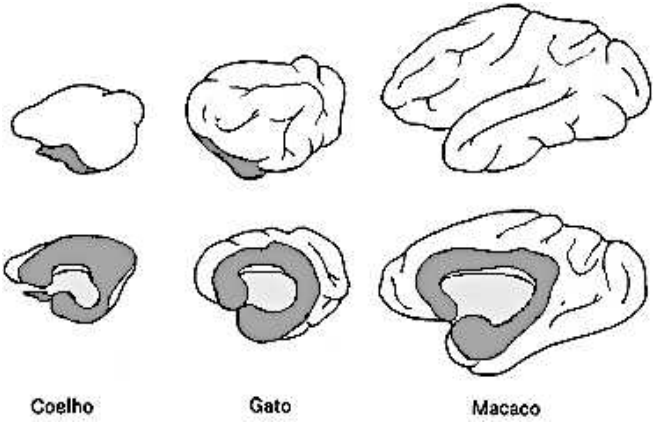
MacLean distinguiu três espécies de regentes do chassi neural. O mais arcaico deles circunda o mesencéfalo (e é constituído, em sua maior parte, pelo que os neuranatomistas chamam de estria olfativa, corpo estriado e globo pálido). Compartilhamos isso com os outros mamíferos e répteis. Provavelmente seu desenvolvimento se processou há várias centenas de milhões de anos. MacLean o denominou complexo reptiliano ou complexo-R. Circundando o complexo-R encontra-se o sistema límbico, assim chamado porque se limita com o cérebro subjacente. (Em inglês, os membros são chamados de *limbs* porque têm situação periférica em relação ao resto do corpo.) Temos o sistema límbico em comum com outros mamíferos, mas o mesmo não ocorre, em sua elaboração total, com os répteis. Provavelmente ele se desenvolveu há mais de 150 milhões de anos. Finalmente, envolvendo o restante do cérebro, e evidentemente a aquisição evolutiva mais recente, temos o neocórtex. À semelhança dos mamíferos superiores e de outros primatas, os seres humanos possuem um neocórtex relativamente maciço. Ele se torna progressivamente mais desenvolvido nos mamíferos mais evoluídos. O neocórtex mais elaborado é o nosso (e o dos golfinhos e baleias). Provavelmente surgiu há várias dezenas de milhões de anos, mas seu desenvolvimento foi grandemente acelerado há alguns milhões de anos, quando o homem apareceu. Uma representação esquemática do cérebro humano é apresentada na figura abaixo, e também uma comparação do sistema límbico com o neocórtex em três mamíferos contemporâneos. O conceito do cérebro trino concebido independentemente de estudos das proporções entre massa cerebral e massa corporal do capítulo anterior está em inteira concordância com as conclusões de que a emergência de mamíferos e primatas (principalmente os seres humanos) se fez acompanhar de grandes surtos de evolução cerebral.

É muito difícil evoluir alterando a profunda trama da vida: qualquer mudança que haja é provavelmente letal. Transformações fundamentais podem, no entanto, ser realizadas pelo acréscimo de novos sistemas sobre as estruturas antigas. Esta é a retrospectiva de uma doutrina que foi chamada recapitulação por Ernst Haeckel, um anatomista alemão do século XIX, e que atravessou vários ciclos de aceitação e rejeição por parte dos eruditos. Haeckel sustentava que, em seu desenvolvimento embriológico, qualquer animal tende a repetir ou recapitular a sequência que seus ancestrais seguiram durante a evolução. E, realmente, no desenvolvimento humano intra-uterino, percorremos etapas muito semelhantes aos peixes, répteis e mamíferos não primatas antes de nos tornarmos seres reconhecidamente humanos. Na fase de peixe, existem até fendas branquiais que são inteiramente inúteis para o embrião, uma vez que ele é nutrido através do cordão umbilical, mas que constituem uma necessidade para a embriologia humana: considerando-se que as

brânquias eram vitais para nossos ancestrais, passamos por uma fase branquial até atingirmos a forma humana. O cérebro do feto também se desenvolve de dentro para fora, e, em linhas gerais, percorre a sequência: chassi neural, complexo-R, sistema límbico e neocórtex (veja a figura da página **122** sobre a embriologia do cérebro humano).



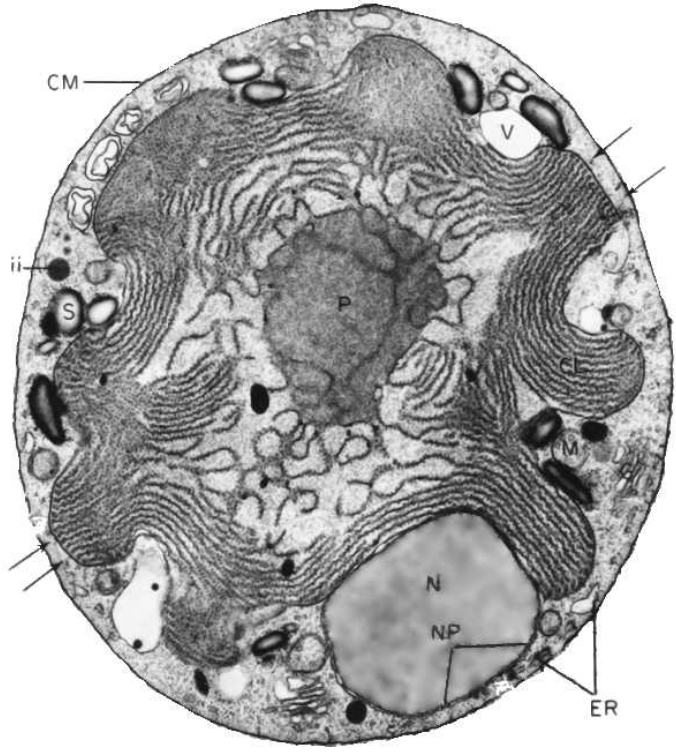
Representação altamente esquemática do complexo reptiliano, do sistema límbico e do neocórtex no cérebro, segundo MaCLean.



Aspectos esquemáticos, vistos de cima e de lado, de cérebros de coelho, gato e macaco. A região escura corresponde ao sistema límbico, vista mais facilmente nos aspectos laterais. As regiões brancas sulcadas representam o neocórtex, mais facilmente visível nos aspectos de topo.

A razão da recapitulação pode ser compreendida da seguinte forma: a seleção natural age somente sobre os indivíduos, não sobre a espécie, e pouco sobre óvulos ou fetos. Portanto, a transformação evolutiva mais tardia se dá após o nascimento. O feto pode apresentar características (tais como fendas branquiais em mamíferos) que são inteiramente incapazes de se adaptar após o nascimento, mas, contanto que não causem problemas sérios para o feto e sejam perdidas antes do nascimento, podem ser conservadas. Nossas fendas branquiais representam vestígios não de peixes antigos, mas de antigos embriões de peixes. Muitos sistemas orgânicos se desenvolvem não pelo acréscimo e pela preservação, mas pela modificação de sistemas mais primitivos, como é o caso da modificação de barbatanas para pernas e de pernas para nadadeiras ou asas; de pés para mãos ou de glândulas sebáceas para glândulas mamárias; ou de arcos branquiais para ossículos do ouvido; ou de escamas para dentes de tubarão. Por conseguinte, a evolução por acréscimo e a preservação funcional da estrutura preexistente devem ocorrer por uma das duas razões seguintes — ou a função antiga é imprescindível, assim como a nova, ou não há meio de evitar o antigo sistema, que é compatível com a sobrevivência.

Na natureza, existem muitos outros exemplos dessa espécie de desenvolvimento evolutivo. Tomando-se um caso aleatório, consideremos o motivo pelo qual as plantas são verdes. A fotossíntese das plantas verdes utiliza a luz nas faixas vermelha e violeta do espectro solar para degradar a água, elaborar carboidratos e realizar outras funções peculiares às plantas. Ocorre que o Sol emite mais luz nas faixas amarela e verde do espectro do que na vermelha ou na violeta. As plantas possuidoras de clorofila como seu único pigmento fotossintético rejeitam a luz no ponto onde ela é mais abundante. Muitas plantas parecem ter "percebido" isso tardiamente e fizeram adaptações adequadas. Criaram-se outros pigmentos, que refletem a luz vermelha e absorvem a luz amarela e verde, tais como os carotenoides e ficobilinas. Muito bem. Mas será que as plantas possuidoras de novos pigmentos fotossintéticos abandonaram a clorofila? A resposta é não. A figura abaixo lado mostra a fábrica fotossintética de uma alga vermelha. As estrias contêm a clorofila e as pequenas esferas aninhadas entre essas estrias contêm as ficobilinas, que dão à alga vermelha sua cor característica. Por uma questão de conservação, essas plantas transferem a energia que adquirem da luz solar verde e amarela para a clorofila, que, muito embora não tenha absorvido a luz, é ainda necessária como mediadora entre a luz e a química em toda fotossíntese vegetal. A natureza não podia eliminar a clorofila e substituí-la por pigmentos melhores; a clorofila está profundamente tecida na trama da vida. As plantas possuidoras de pigmentos acessórios são certamente diferentes. São mais eficientes. Mas lá, ainda que trabalhando com menor responsabilidade, no âmago do processo fotossintético, está a clorofila. Acredito que a evolução do cérebro tenha ocorrido de forma análoga. As partes profundas e arcaicas ainda funcionam.



Fotografia de uma pequena alga vermelha (*Porphyridium cruentum*) obtida com microscópio eletrônico. O cloroplasto, a fábrica fotossintética deste organismo, preenche quase totalmente a célula. A fotografia, ampliada numa razão de 1 / 23000, foi tirada pela Dra. Elizabetb Gantt, do Laboratório de Biologia Radiológica do Instituto Smithsoniano.

1. O complexo-R

Se o ponto de vista precedente é correto, devemos esperar que o complexo-R no cérebro humano ainda esteja de alguma forma realizando as funções dos dinossauros, e que o córtex límbico tenha os pensamentos dos pumas e das preguiças. Não resta dúvida de que cada nova etapa na evolução do cérebro acompanha-se de alterações na fisiologia dos componentes preexistentes. A evolução do complexo-R deve ter testemunhado transformações no mesencéfalo, e assim por diante. E mais, sabemos que o comando de muitas funções é compartilhado por diferentes componentes do cérebro. Mas ao mesmo tempo seria assombroso se os componentes abaixo do neocórtex não estivessem até certo ponto funcionando como o faziam em nossos ancestrais remotos.

MacLean demonstrou que o complexo-R desempenha importante papel no comportamento agressivo, na demarcação territorial, no ritual e no estabelecimento da hierarquia social. Afora eventuais e honrosas exceções, parece-me que isso caracteriza sobremaneira o comportamento humano moderno do ponto de vista burocrático e político. Não quero dizer que o neocórtex não esteja de forma alguma atuando em uma convenção política americana ou em uma reunião do Soviete Supremo; afinal de contas, grande parte da comunicação em tais rituais é verbal e, por conseguinte, neocortical. Mas é surpreendente quanto de nosso comportamento real — a julgar pelo que dizemos e pensamos a seu respeito — pode ser descrito em termos reptilianos. Falamos comumente de assassinato a "sangue-frio". O conselho dado por Maquiavel em *O príncipe* era "deliberadamente assumir a fera".

Numa interessante antevisão parcial dessas ideias, escreveu a filósofa americana Susane Langer: "A vida humana é continuamente entremeada de rituais, bem como de práticas animalescas. É uma intrincada trama de razão e rito, de sabedoria e religião, prosa e poesia, realidade e sonho... O ritual, como a arte, é essencialmente o término ativo de uma transformação simbólica de experiência. Origina-se no córtex, não no 'cérebro arcaico'; mas ele se origina de uma *necessidade elementar* daquele órgão, uma vez que o órgão se desenvolveu até a condição humana". À exceção do fato de que o complexo-R *situa-se* no "cérebro arcaico", ela parece acertar na mosca.

Pretendo ser muito claro quanto às implicações sociais da afirmação de que os cérebros reptilianos influenciam as ações humanas. Se o comportamento burocrático é controlado em seu âmago pelo complexo-R, significaria isso que não há esperança para o futuro do homem? No ser humano, o neocórtex representa cerca de 85 por cento do cérebro, o que é certamente um índice de sua importância em relação ao tronco cerebral, complexo-R e sistema límbico. A neuranatomia, a história política e a introspecção em conjunto oferecem indícios de que os seres humanos são bastante capazes de resistir ao ímpeto de se renderem a todos os impulsos do cérebro reptiliano. Não há a menor possibilidade, por exemplo, de que a Declaração dos Direitos Humanos tenha sido registrada, ou muito menos concebida, pelo complexo-R. É precisamente nossa plasticidade, nossa longa infância, que evita, nos seres humanos, a obediência escravizada ao comportamento geneticamente

pré-programado, mais do que em qualquer outra espécie. Mas, se o cérebro trino é um modelo fidedigno de como os seres humanos funcionam, não convém ignorar o componente reptiliano da natureza humana, sobretudo nosso comportamento ritual e hierárquico. Pelo contrário, o modelo nos ajuda a compreender mais ou menos o que são os seres humanos. (Coloco-me a questão de, por exemplo, se os aspectos rituais de muitas doenças psicóticas — como a esquizofrenia hebefrênica — poderiam ser o resultado da hiperatividade de algum centro do complexo-R, ou do defeito de algum ponto do neocórtex cuja função seja a de reprimir o complexo-R. Também me pergunto se o frequente comportamento ritualístico das crianças pequenas é uma consequência do desenvolvimento ainda incompleto de seu neocórtex.)

Em um trecho curiosamente perspicaz, G. K. Chesterton escreveu: "**Você pode excluir as coisas das leis acidentais ou alheias a elas, mas não das leis de sua própria natureza. (...) Não saia por aí (...) incentivando os triângulos a quebrar a prisão de seus três lados. Se o triângulo escapar de seus três lados, sua vida chegará a um triste fim**". Mas nem todos os triângulos são equiláteros. Uma considerável parte da adaptação do papel relativo do cérebro trino encontra-se em nosso poder.

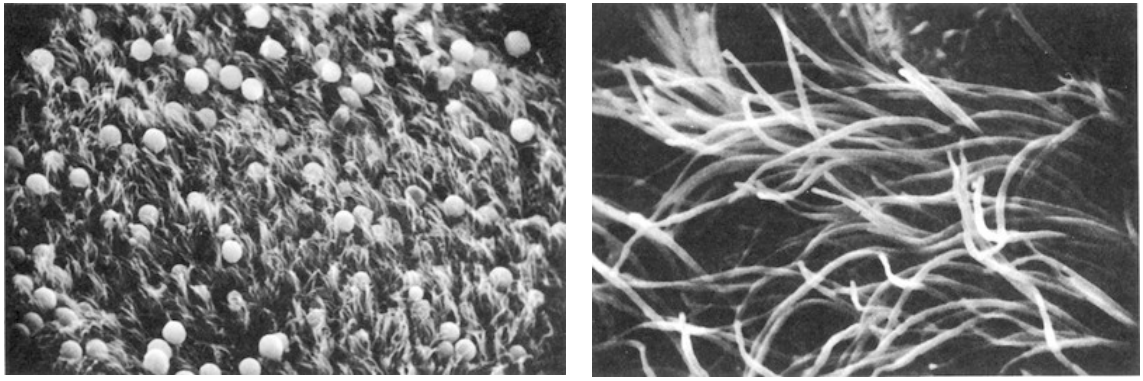
2. O sistema límbico

O sistema límbico parece gerar emoções fortes ou particularmente vívidas. Isso sugere imediatamente uma perspectiva adicional à mente reptiliana: ela não se caracteriza por paixões poderosas e violentas contradições, mas por uma obediente e sólida aquiescência a qualquer comportamento que seus genes e cérebros ditam.

Descargas elétricas no sistema límbico às vezes resultam em sintomas semelhantes aos das psicoses ou aos produzidos por drogas psicodélicas ou alucinógenas. De fato, a esfera de ação de muitas das drogas psicotrópicas encontra-se no sistema límbico. Talvez elas controlem a alegria e o temor e uma variedade de emoções sutis que nós às vezes consideramos exclusivamente humanas.

A "glândula mestra", a hipófise, que influencia outras glândulas e domina o sistema endócrino humano, constitui parte íntima da região límbica. As mudanças de humor causadas pelos desequilíbrios nos dão uma importante indicação acerca da ligação do sistema límbico com os estados mentais. Existe uma pequena inclusão no sistema límbico, em forma de amêndoa, denominada amígdala, que está profundamente implicada tanto na agressividade quanto no medo. A estimulação elétrica da amígdala em animais domésticos tranquilos é capaz de levá-los a estados quase incríveis de terror ou agitação frenética. Em um caso, um gato doméstico encolhia-se de medo quando se defrontava com um pequeno camundongo branco. Por outro lado, os animais de natureza feroz, como o lince, tornam-se dóceis e toleram ser acariciados e manipulados após a extirpação das amígdalas. O mau funcionamento do sistema límbico pode produzir a ira, o medo ou um acesso de sentimentalismo sem razão aparente. A hiperestimulação natural é capaz de produzir os mesmos resultados: os que sofrem de tal moléstia consideram inexplicáveis e inadequados os seus sentimentos; podem ser tomados por loucos.

Pelo menos uma parte do papel determinador das emoções de tais sistemas endócrinos límbicos, como a hipófise, a amígdala e o hipotálamo, é proporcionada através de pequenas proteínas hormonais que liberam e que afetam outras áreas do cérebro. Talvez a mais conhecida seja a proteína hipofisária, o HACT (hormônio adrenocorticotrópico), capaz de afetar diversas funções mentais, como a retenção visual, a ansiedade e o prazo de atenção. A título especulativo, foram isoladas algumas pequenas proteínas hipotalâmicas no terceiro ventrículo cerebral, que liga o hipotálamo ao tálamo, região também compreendida no sistema límbico. As extraordinárias fotografias mostradas a seguir, tomadas ao microscópio eletrônico, mostram dois pormenores de ação no terceiro ventrículo. O diagrama da página **66** pode ajudar a elucidar um pouco da anatomia recém descrita.



Duas fotografias tiradas com microscópio eletrônico dentro do terceiro ventrículo cerebral por Richard Steger, na Universidade Estadual de Wayne. Minúsculos pêlos ondulantes ou cílios podem ser vistos transportando pequenas proteínas esféricas cerebrais — tal qual uma multidão passando grandes bolas de tênis por cima da cabeça.

Existem razões para se admitir que os princípios do comportamento altruístico estejam localizados no sistema límbico. De fato, com raras exceções (principalmente os insetos sociais), os mamíferos e as aves são os únicos organismos que devotam considerável atenção ao cuidado de suas crias — um desenvolvimento evolutivo que, através do longo período de plasticidade que ele permite, tira vantagem da ampla capacidade de processamento de informação dos cérebros dos mamíferos e dos primatas. O amor parece ser uma invenção dos mamíferos[6].

Muito do comportamento animal consolida a noção de que emoções fortes evoluíram principalmente nos mamíferos e, em menor escala, nas aves. Acho que a ligação dos animais domésticos ao homem é inquestionável. É bem conhecido o comportamento pesaroso de muitas mães quando sua cria é afastada. Indaga-se

6 Essa lei acerca da preocupação relativa dos pais demonstrada pelos mamíferos e répteis não é isenta de exceções. As mães crocodilos do Nilo albergam cuidadosamente suas ninhadas na boca e as carregam para as águas relativamente seguras dos rios; enquanto isso, o leão Serengeti macho, num acesso de ciúme, mata todos os filhotes. Mas de uma forma geral, os mamíferos demonstram muito mais cuidado para com a cria do que os répteis. Essa diferença deve ter sido ainda mais acentuada há 100 milhões de anos.

até que ponto chegam essas emoções. Será que os cavalos têm vislumbres de fervor patriótico? E os cães sentem em relação ao homem algo parecido com o êxtase religioso? Que outras emoções fortes ou sutis são sentidas pelos animais e não são comunicadas?

A parte mais antiga do sistema límbico é o córtex olfativo, que está relacionado com o cheiro, qualidade emocional obsedante conhecida da maioria dos seres humanos. Um dos maiores componentes de nossa capacidade de lembrar e rememorar localiza-se no hipocampo, estrutura integrante do sistema límbico. A ligação é claramente demonstrada pelo profundo prejuízo da memória resultante das lesões do hipocampo. Em um famoso caso, H. M., paciente com longa história de convulsões e crises, foi submetido à extirpação bilateral de toda uma região próxima ao hipocampo, numa tentativa bem-sucedida de reduzir sua frequência e gravidade. Ele imediatamente tornou-se amnésico. Manteve boa capacidade perceptiva, era capaz de aprender novas habilidades motoras e experimentou certo aprendizado perceptivo, mas, essencialmente, esqueceu tudo o que acontecera havia pouco tempo. Seu único comentário era: "**Todo dia é isolado — não importa quanto prazer e quanto pesar tive**". Ele descrevia sua vida como uma contínua extensão do sentimento de desorientação que muitos de nós sentimos após acordarmos de um sonho, quando temos grande dificuldade de lembrar o que acabou de acontecer. Por incrível que pareça, apesar desse grave problema, seu QI aumentou após a cirurgia.

Aparentemente, podia detectar os odores, mas tinha dificuldade em identificar pelo nome a fonte do odor. Também exibia aparentemente um total desinteresse pela atividade sexual.

Em outro caso, um jovem aviador norte-americano foi ferido em um duelo de brincadeira com um colega, quando um florete de esgrima em miniatura penetrou em sua narina direita, perfurando uma pequena parte do sistema límbico imediatamente acima. Isso resultou em sério prejuízo da memória, semelhante ao de H. M., mas não tão grave quanto o dele; uma ampla faixa de suas capacidades perceptivas e intelectuais permaneceu íntegra. A perda de memória incidia particularmente sobre a verbalização. Além disso, o acidente parece tê-lo tornado impotente e indiferente à dor. Uma vez ele caminhou descalço pelo convés de um navio, sobre o metal aquecido pelo sol, sem perceber que seus pés sofriam graves queimaduras, até que seus companheiros se queixaram de um insuportável cheiro de carne chamuscada. Ele próprio não se deu conta nem da dor nem do cheiro.

Tendo em mente esses casos, parece que uma atividade mamífera tão complexa quanto o sexo é controlada simultaneamente por todos os três componentes do cérebro trino — o complexo-R, o sistema límbico e o neocórtex. (Já mencionamos a implicação do complexo-R e do sistema límbico na atividade sexual. Indícios do envolvimento do neocórtex podem ser facilmente obtidos por introspecção.)

Um segmento do antigo sistema límbico está voltado para as funções gustativa e oral; outro, para funções sexuais. A ligação do sexo com o olfato é muito antiga e altamente desenvolvida nos insetos — uma situação que permite avaliar tanto a importância quanto as desvantagens do olfato para nossos ancestrais remotos.

Em uma ocasião presenciei uma experiência na qual a cabeça de uma mosca verde foi conectada por um fio muito delgado a um osciloscópio que registrava, em uma espécie de gráfico, qualquer impulso elétrico produzido pelo sistema olfativo da mosca. (A cabeça da mosca tinha sido recentemente separada do corpo — a fim de se ganhar acesso ao aparelho olfativo — e ainda funcionava sob muitos aspectos[7].) Os pesquisadores lançaram uma grande variedade de odores, inclusive o de gases desagradáveis e irritantes como a amônia, sem que fossem observados efeitos. O traçado na tela do osciloscópio era absolutamente reto e horizontal. Depois, uma diminuta quantidade do atrativo sexual liberado pela fêmea da espécie foi colocada perante a cabeça decepada e uma enorme ponta vertical se desenhou no osciloscópio. A mosca não podia sentir o cheiro de quase nada, exceto o atrativo sexual da fêmea. Mas era capaz de sentir sobejamente o cheiro dessa molécula.

Tal especialização olfativa é bastante comum nos insetos. A mariposa macho do bicho-da-seda é capaz de detectar a molécula do extrato sexual da fêmea quando somente cerca de quarenta moléculas por segundo atingem suas antenas periformes. Uma única fêmea do bicho-da-seda precisa liberar somente um centésimo de micrograma de extrato sexual por segundo para atrair todos os machos de bicho-da-seda num raio de 1 quilômetro. Este é o motivo pelo qual existem tantos bichos-da-seda.

Talvez a mais curiosa exploração da dependência do cheiro para encontrar um companheiro e perpetuar a espécie seja encontrada em um besouro sulafricano que se enterra no solo durante o inverno. Na primavera, com o degelo, os besouros emergem, mas os machos o fazem algumas semanas antes das fêmeas. Nessa mesma região da África do Sul, evoluiu uma espécie de orquídea que exala um aroma idêntico ao atrativo sexual da fêmea do besouro. De fato, a evolução da orquídea e do besouro produziu basicamente a mesma molécula. Os besouros machos passaram a ser extremamente míopes e as orquídeas desenvolveram uma configuração de suas pétalas de tal forma que, para um besouro míope, elas se assemelham à fêmea em posição sexual receptiva. Os besouros machos gozam de várias semanas de êxtase entre as orquídeas e quando, finalmente, as fêmeas emergem do solo, podemos imaginar quanto orgulho ferido e indignação. Entrementes, as orquídeas foram polinizadas adequadamente pelos besouros amorosos, os quais, agora envergonhados, fazem o melhor que podem para perpetuar a espécie; assim, ambos os organismos sobrevivem. (Diga-se de passagem que não é interessante para as orquídeas serem demasiadamente atraentes; se os besouros deixarem de se reproduzir, as orquídeas estarão em apuros.) Descobrimos assim uma limitação aos estímulos sexuais puramente olfativos. Outra limitação decorre do fato de toda fêmea produzir o mesmo atrativo

7 A cabeça e o corpo dos artrópodes podem funcionar muito bem um sem o outro por curto período de tempo. Um louva-a-deus fêmea frequentemente responde à ardente corte decapitando o pretendente. Ao passo que isso seria visto como insociável entre os seres humanos, o mesmo não ocorre entre os insetos — a extirpacão do cérebro abole as inibições sexuais e estimula o que resta do macho a copular. Ao final, a fêmea completa seu repasto comemorativo, jantando, naturalmente sozinha. Talvez isso represente uma lição admoestatória contra a repressão sexual excessiva.

sexual, o que torna difícil para o macho apaixonar-se pela dama de seus sonhos. Embora os insetos machos possam exibir-se para atrair uma fêmea, ou — como os escaravelhos — empenhar-se em combate, mandíbula com mandíbula, sendo a fêmea o prêmio, o papel central do atrativo sexual da fêmea no acasalamento parece reduzir a extensão da seleção sexual entre os insetos.

Outros métodos de encontrar um parceiro desenvolveram-se entre os répteis, as aves e os mamíferos, mas a ligação do sexo com o olfato ainda se apresenta sob o aspecto neuranatômico nos animais superiores, assim como a título de anedota na experiência humana. Às vezes fico pensando se os desodorantes, em particular os desodorantes íntimos para a mulher, representam uma tentativa de disfarçar os estímulos sexuais, permitindo que nossas mentes se concentrem sobre outras coisas.

Uma impressão da possível forma do réptil mesozoico *Lycaenops*, segundo John Germann. Tais criaturas, semelhantes a mamíferos, situam-se talvez entre as primeiras a experimentar a considerável evolução do sistema límbico. (Cortesia do Museu Americano de História Natural)

3. O neocórtex

Até mesmo nos peixes, as lesões do prosencéfalo destroem os vestígios de iniciativa e precaução. Nos animais superiores, esses vestígios, muito elaborados, parecem localizar-se no neocórtex, ponto de muitas das funções cognitivas caracteristicamente humanas. Costuma ser considerado em termos de quatro regiões principais ou lobos, a saber: o frontal, o parietal, o temporal e o occipital. Os primeiros neurofisiologistas sustentavam que o neocórtex achava-se primariamente ligado apenas a outros pontos do neocórtex, mas hoje se sabe que existem muitas conexões neurais com o cérebro subcortical. Contudo, não foi de forma alguma elucidado se as subdivisões neocorticais são realmente unidades funcionais. Cada uma tem certamente muitas funções diferentes, e algumas delas podem ser compartilhadas entre os lobos. Entre outras funções, os lobos frontais parecem estar ligados à deliberação e à regulação da ação; os lobos parietais, à percepção espacial e ao intercâmbio de informação entre o cérebro e o restante do corpo; os lobos temporais, a uma variedade de tarefas perceptivas complexas; e os lobos occipitais, à visão, sentido predominante nos seres humanos e em outros primatas.

Por muitas décadas prevaleceu entre os neurofisiologistas o conceito de que os lobos frontais, atrás da testa, eram os pontos de previsão e planejamento do futuro, funções essas caracteristicamente humanas. Trabalhos mais recentes, porém, têm mostrado que a situação não é assim tão simples. Muitos casos de lesões frontais — sofridas sobretudo nas guerras e em ferimentos causados por armas de fogo — foram pesquisados pelo neurofisiologista americano Hans-Lukas Teuber, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts. Ele descobriu que muitas lesões do lobo frontal quase não exercem efeito evidente sobre o comportamento; entretanto, nas patologias graves dos lobos frontais, "o paciente não é de todo destituído da capacidade de prever uma sequência de fatos, mas é incapaz de se situar em relação a tais eventos como um agente potencial". Teuber salientou o fato de que o lobo frontal pode estar envolvido na previsão motora, assim como na cognitiva, particularmente na avaliação de qual será o efeito dos movimentos voluntários. Os lobos frontais também parecem estar implicados na ligação entre a visão e a posição bípede ereta.

Por conseguinte, os lobos frontais podem estar envolvidos em funções peculiarmente humanas de duas maneiras diferentes. Se eles controlam a previsão do futuro, também devem constituir os centros das preocupações e dos interesses. Este é o motivo pelo qual a seção transversal dos lobos frontais reduz a ansiedade. A lobotomia frontal, no entanto, deve também reduzir violentamente a capacidade de ser humano do paciente. O preço que pagamos pela previsão do futuro é a ansiedade sentida. A profecia do desastre certamente não é divertida; Poliana era muito mais feliz do que Cassandra. Mas os comportamentos cassândricos de nossa natureza são necessários à sobrevivência. As doutrinas para a regulação do futuro, que eles produziram, são as origens da ética, da magia, da ciência e dos códigos legais. O benefício obtido com o prognóstico da catástrofe é a capacidade de tomar

medidas para evitá-la, sacrificando os benefícios a curto prazo em favor dos obtidos a longo prazo. Uma sociedade materialmente segura, em virtude de tal previsão, gera o tempo de lazer necessário para a inovação social e tecnológica.

A outra provável função dos lobos frontais é tornar possível a posição bípede humana. Nossa posição ereta provavelmente não foi adquirida antes do desenvolvimento dos lobos frontais. Como veremos adiante, mais pormenorizadamente, o fato de nos apoiarmos sobre dois pés nos liberou as mãos para a manipulação, o que então levou a um maior acréscimo das características culturais e fisiológicas humanas. No sentido real, a civilização pode ser o produto dos lobos frontais.

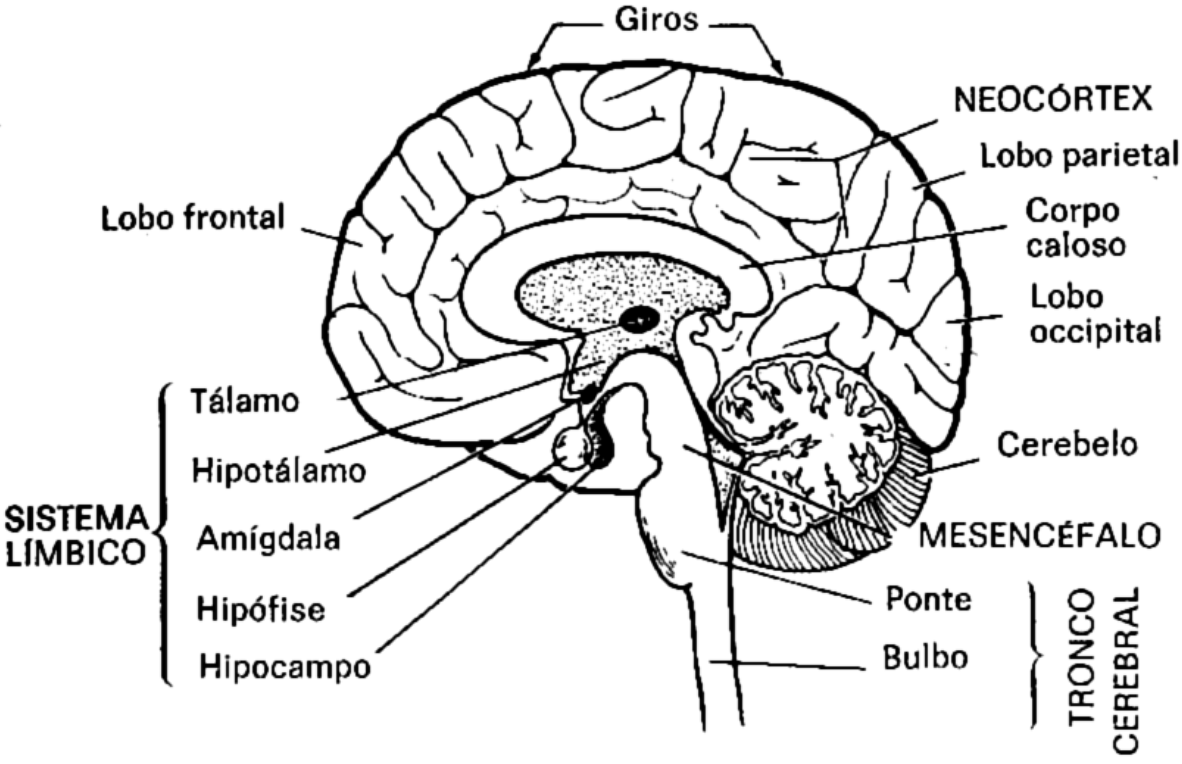
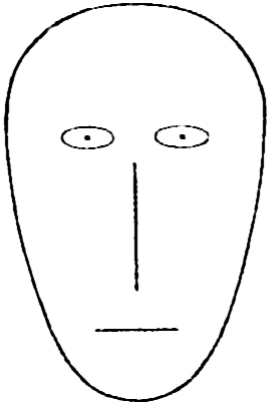


Diagrama esquemático de uma vista lateral do cérebro humano, dominado pelo neocórtex, com um sistema límbico menor e tronco cerebral ou rombencéfalo. Não mostramos o complexo-R.

A informação visual dos olhos chega ao cérebro humano principalmente no lobo occipital, região posterior da cabeça; as impressões auditivas, na parte superior do lobo temporal, abaixo da têmpora. Existem indícios fragmentários de que esses componentes do neocórtex são consideravelmente menos desenvolvidos nos surdos-mudos cegos. Lesões no lobo occipital — produzidas por armas de fogo, por exemplo — frequentemente provocam defeito no campo visual. A vítima pode ser normal sob todos os demais aspectos, mas ter somente visão periférica, apre-

sentando uma mancha escura à sua frente no centro do campo visual normal. Em outros casos, seguem-se percepções mais bizarras, dentre as quais defeitos flutuantes, geometricamente regulares, no campo visual, assim como "crises visuais", nas quais (por exemplo) os objetos no chão, à direita do paciente, são temporariamente percebidos flutuando no ar, acima e à esquerda, e sofrendo uma rotação de 180 graus através do espaço. Pode-se até mapear as partes dos lobos occipitais responsáveis por determinadas funções visuais, calculando-se sistematicamente os defeitos de visão a partir de diversas lesões occipitais. Os defeitos permanentes da visão são muito menos prováveis nos muito jovens, cujos cérebros parecem capazes de processar ou de transferir funções para regiões vizinhas. A capacidade de estabelecer conexão entre os estímulos auditivos e visuais também se localiza no lobo temporal. As lesões do lobo temporal podem resultar em uma forma de afasia, ou seja, a incapacidade de compreender a palavra falada. É notável e relevante que os pacientes portadores de lesão cerebral possam ser inteiramente competentes na linguagem falada e inteiramente incompetentes na linguagem escrita, ou vice-versa. Eles podem ser capazes de escrever, mas incapazes de ler; capazes de ler números, mas não letras; capazes de identificar os objetos pelos nomes, mas não as cores. Existe no neocórtex uma acentuada separação de funções, que é contrária às noções comuns de que a leitura e a escrita, ou o reconhecimento de palavras e números, representam atividades muito semelhantes. Existem também relatos ainda não comprovados de lesões cerebrais que resultaram apenas na incapacidade de compreender a voz passiva ou as locuções prepositivas ou as construções possessivas. (Talvez o local do modo subjuntivo na língua inglesa um dia seja encontrado. Seriam os latinos extraordinariamente bem-dotados e os povos de língua inglesa bastante deficientes nessa pequena porção da anatomia cerebral?) Várias abstrações, inclusive as "partes do discurso" na gramática, parecem incrivelmente ligadas a regiões específicas do cérebro.



Fisionomia humana descrita por um paciente como uma maçã. (Ou, pelo contrário, uma maçã descrita por um médico como uma fisionomia humana). Segundo Teuber.

Em um caso, uma lesão do lobo temporal resultou num surpreendente defeito da percepção de rostos, mesmo o rosto dos parentes mais próximos. Quando apresentaram ao paciente a figura ao lado, ele a descreveu como "possivelmente" uma maçã. Instado a justificar essa interpretação, identificou a boca como um corte na maçã, o nariz como o cabo da maçã virado para trás em sua superfície, e os olhos como dois orifícios causados por bichos. O mesmo paciente era perfeitamente capaz de reconhecer esboços de casas e outros objetos inanimados. Uma grande variedade de experiências mostra que lesões do lobo temporal direito produzem amnésia para determinados tipos de questões não-verbais, enquanto as lesões do lobo temporal esquerdo produzem uma característica perda de memória no campo da linguagem.

Nossa capacidade de ler e de fazer mapas para nos orientar especialmente nas três dimensões, bem como de usar os símbolos adequados — os quais estão provavelmente envolvidos no desenvolvimento, se não no uso, da linguagem —, é intensamente prejudicada por lesões nos lobos parietais, próximos ao alto da cabeça. Um soldado que sofreu uma penetração maciça do lobo parietal em batalha permaneceu durante um ano incapaz de pôr os pés nos chinelos, e muito menos de localizar sua cama na enfermaria. Entretanto, acabou por experimentar uma cura quase completa.

Uma lesão do giro angular do neocórtex no lobo parietal resulta em alexia, ou seja, a incapacidade de reconhecer a palavra impressa. Ao que parece, o lobo parietal está envolvido em toda a linguagem simbólica humana e, de todas as lesões cerebrais, uma lesão no lobo parietal causa uma maior diminuição da inteligência, a julgar pelas atividades do dia-a-dia.

Entre as principais abstrações neocorticais encontram-se as linguagens simbólicas humanas, sobretudo a leitura, a escrita e a matemática. Estas parecem exigir a atividade conjunta dos lobos temporais, parietais e frontais, e talvez também dos occipitais. Contudo, nem todas as linguagens simbólicas são neocorticais; as abelhas — sem vestígio do neocórtex — possuem uma elaborada linguagem de dança, elucidada pelo entomologista austríaco Karl von Frisch, através da qual comunicam informação a respeito da distância e da direção do alimento disponível. É uma linguagem de gestos exagerados, imitando o movimento que as abelhas fazem quando encontram o alimento — como se nós nos aproximássemos da geladeira, apontando e esfregando a barriga e "lambendo os beiços". Mas os vocabulários de tais línguas são extremamente limitados, talvez com apenas algumas dezenas de palavras. A espécie de aprendizado que os pequenos seres humanos experimentam durante sua longa infância parece quase exclusivamente uma função neocortical.

Embora a maior parte do processamento olfativo se faça no sistema límbico, uma parcela dele ocorre no neocórtex. A mesma divisão de função parece aplicar-se à memória. Uma importante parte do sistema límbico, afora o córtex olfativo, é, como já dissemos, o córtex hipocampal. Quando o córtex olfativo é secionado, os animais ainda são capazes de sentir cheiro, embora com uma eficiência muito menor. Existem alguns indícios de que nos seres humanos contemporâneos a memória de curto prazo para cheiros reside no hipocampo. A função original do hipocampo pode ter sido exclusivamente a memória recente do cheiro, útil, por exemplo, para rastrear a presa ou ir ao encontro do sexo oposto. Mas uma lesão hipocampal bilateral nos seres humanos resulta, como no caso de H. M., em um profundo prejuízo de todos os tipos de lembrança de curto prazo. Os pacientes portadores dessas lesões são literalmente incapazes de lembrar os fatos de um momento para o seguinte. São claros os indícios de que tanto o hipocampo quanto os lobos frontais estão envolvidos na memória de curto prazo humana. Uma das implicações mais interessantes desse fato é que as memórias de curto e de longo prazo residem basicamente em diferentes partes do cérebro. O condicionamento

clássico — a capacidade de os cães de Pávlov salivarem quando a campainha tocava — parece localizar-se no sistema límbico. Esta é uma memória de longo prazo, mas de um tipo muito restrito. A espécie requintada de memória de longo prazo humana situa-se no neocórtex, que é compatível com a capacidade humana de prever. À medida que envelhecemos, às vezes esquecemos o que acabou de ser dito, mas conservamos de forma vívida e exata as recordações dos fatos de nossa infância. Nesses casos, pouco parece haver de errado com a memória de curto ou de longo prazo; o problema está na ligação entre as duas – temos grande dificuldade em passar novo material para a memória de longo prazo. Penfield acreditava que essa perda da capacidade de admissão provém de um suprimento sanguíneo inadequado ao hipocampo na idade avançada — em virtude de arteriosclerose ou de outra deficiência física. Por isso, as pessoas mais idosas — e outras não tão idosas — podem apresentar sérios defeitos na admissão da memória recente, estando perfeitamente alerta e intelectualmente aguçadas[8]. Esse fenômeno também mostra nítida distinção entre memória de curto e de longo prazo, compatível com sua localização em diferentes partes do cérebro. As garçonetes de lanchonetes muito frequentadas são capazes de guardar uma impressionante quantidade de informação, que transmitem com precisão para a cozinha. Mas, uma hora mais tarde, a informação desaparece completamente. Ela foi orientada exclusivamente para a memória de curto prazo, e nenhum esforço foi realizado para introduzi-la na memória de longo prazo.

Os mecanismos de rememoração podem ser complexos. Uma experiência comum é o fato de nós sabermos que algo se encontra em nossa memória de longo prazo — uma palavra, um nome, uma fisionomia, uma experiência —, mas que somos incapazes de lembrar. Não importa quanto nos esforcemos, a memória recusa-se a aflorar. Mas se abordarmos pelos lados, relembrando pormenores ligeiramente relacionados ou periféricos, frequentemente se nos revela espontaneamente o que lá estava. (A visão humana também é mais ou menos assim. Quando olhamos diretamente para um objeto tênue como uma estrela, usamos a fóvea, a parte da retina com maior acuidade e maior densidade de células denominadas cones. Mas quando desviamos ligeiramente nossa visão — quando, de certa forma, olhamos para o objeto pelos lados —, colocamos em funcionamento as células chamadas bastonetes, que são sensíveis à iluminação fraca e capazes, por isso, de perceber a tênue estrela.) Seria interessante saber por que o pensamento lateral melhora a recuperação da memória; pode estar

8 De fato, existe uma série de indícios médicos em favor da ligação entre o suprimento sanguíneo e as capacidades intelectuais. Sabe-se de há muito que os pacientes privados de oxigênio por alguns minutos podem experimentar prejuízo mental grave e permanente. As operações que retiram material de artérias carótidas obstruídas com a finalidade de evitar acidentes vasculares cerebrais acarretam benefícios inesperados. De acordo com um estudo, seis semanas após tais circunstâncias, os pacientes demonstraram um aumento médio de 18 pontos no QI, melhora considerável. Tem havido inclusive certa especulação quanto à imersão em oxigênio hiperbárico — isto é, sob alta pressão —, que elevaria a inteligência de crianças pequenas.

simplesmente associado ao caminho da memória por uma via neural diferente. Mas isso não sugere uma organização cerebral particularmente eficiente.

Todos já tivemos a experiência de acordar no meio da noite após um sonho vívido, particularmente excitante, criativo ou memorável por algum motivo. Dizemos para nós mesmos: "Certamente me lembrarei deste sonho de manhã". No dia seguinte, entretanto, não temos a menor noção do conteúdo do sonho ou, na melhor das hipóteses, resta apenas uma vaga lembrança de caráter emocional. Por outro lado, caso eu fique suficientemente impressionado com o sonho e acorde minha mulher no meio da noite para contá-lo, não terei a menor dificuldade em lembrar seu conteúdo de manhã sem qualquer ajuda. Da mesma forma, se me der ao trabalho de relatar por escrito o sonho, quando acordar na manhã seguinte serei capaz de me lembrar dele perfeitamente, sem sequer usar minhas anotações. O mesmo vale para, por exemplo, lembrar o número de um telefone. Se me disserem um número e eu simplesmente pensar nele, tendo a esquecê-lo ou a trocar a posição de alguns algarismos. Caso repita os números em voz alta ou os escreva, poderei lembrar-me deles bastante bem. Isso certamente significa que existe uma parte de nosso cérebro que recorda sons e imagens, mas não os pensamentos. Eu me pergunto se essa espécie de memória surgiu antes de termos muitos pensamentos — quando era importante lembrar o silvo de um réptil dando o bote ou a sombra de um falcão investindo verticalmente, mas não nossas próprias reflexões filosóficas.

4. Sobre a natureza humana

Apesar da intrigante localização das funções no modelo trino do cérebro, é, repito, excesso de simplificação insistir na perfeita separação das funções. O comportamento humano, ritual e emocional, é por certo influenciado intensamente pelo raciocínio abstrato neocortical; demonstrações analíticas da validade de crenças puramente religiosas têm sido propostas e existem justificativas filosóficas para o comportamento hierárquico, tal como a "demonstração" de Thomas Hobbes do divino direito dos reis. Da mesma forma, animais não-humanos — e na verdade até alguns que nem primatas são — parecem ter um vislumbre de capacidade analítica. Certamente tenho essa impressão dos golfinhos, como descrevi em meu livro *A Conexão Cósmica*.

Não obstante, levando isso em conta, parece útil como primeira abordagem considerar que os aspectos rituais e hierárquicos de nossas vidas são intensamente influenciados pelo complexo-R e compartilhados com nossos antepassados répteis; que os aspectos altruísticos, emocionais e religiosos de nossas vidas se localizam em grande parte no sistema límbico e são compartilhados com nossos antepassados mamíferos não-primatas (e talvez as aves); e que a razão é uma função do neocórtex, compartilhada até certo ponto com os primatas superiores e os cetáceos, como golfinhos e baleias. Embora o ritual, a emoção e o raciocínio constituam aspectos importantes da natureza humana, a única característica quase

que exclusivamente humana é a capacidade de associar abstratamente e raciocinar. A curiosidade e a premência de resolver problemas representam as marcas registradas emocionais de nossa espécie; e as atividades mais caracteristicamente humanas são a matemática, a ciência, a tecnologia, a música e as artes — um leque de assuntos um tanto mais abrangente do que aquilo que normalmente se inclui sob o termo "humanidades". De fato, em seu emprego comum essa palavra parece refletir uma peculiar estreiteza de visão acerca do que seria humano. A matemática é tanto uma "humanidade" quanto a poesia. As baleias e os elefantes podem ser tão "humanos" quanto os seres humanos.

O modelo cerebral trino deriva de estudos comparados de neuranatomia e comportamento. A introspecção honesta, porém, não é desconhecida na espécie humana, e, se o modelo do cérebro trino é correto, deveríamos esperar alguma pista sua na história do autoconhecimento humano. A hipótese mais sobejamente conhecida que representa pelo menos um reminiscente do cérebro trino é a divisão do psiquismo humano em id, ego e superego, de acordo com Sigmund Freud. Os aspectos agressivo e sexual do complexo-R correspondem satisfatoriamente à descrição freudiana do id (palavra latina que se refere ao aspecto bestial de nossas naturezas); mas, até onde sei, Freud não realçou em sua descrição do id os aspectos rituais ou hierárquico-sociais do complexo-R.

Ele descreveu as emoções como uma função do ego — em particular, a "experiência oceânica" que representa o equivalente freudiano da manifestação da divindade. Entretanto, o superego não é retratado primariamente como o local de raciocínio abstrato, mas sim como o internalizador das críticas sociais e paternas, que no cérebro trino deveríamos supor mais como uma função do complexo-R. Portanto, eu teria de descrever a mente psicanalítica tripartida como tendo pouca consonância com o modelo do cérebro trino.

Talvez uma metáfora melhor seja a divisão freudiana da mente em consciente, pré-consciente (que é latente, mas capaz de ser visualizado) e inconsciente (que é reprimido ou completamente inacessível). Era a tensão que existe entre os componentes do psiquismo que Freud tinha em mente quando disse a respeito do homem que "sua capacidade para a neurose seria simplesmente o inverso de sua capacidade para o desenvolvimento cultural". Ele denominou as funções inconscientes de "processos primários".

Maior harmonia é alcançada na metáfora do psiquismo humano contida no diálogo platônico *Fedro*. Sócrates compara a alma humana a uma carroça puxada por dois cavalos — um negro e um branco — que seguem direções diferentes, fracamente comandados pelo cocheiro. A metáfora da carroça em si é notavelmente semelhante ao chassi neural de MacLean; os dois cavalos, ao complexo-R e ao córtex límbico; e o cocheiro, que mal controla a carroça ziguezagueante e os cavalos, ao neocórtex. Em outra metáfora ainda, Freud descreveu o ego como o cavaleiro de um cavalo desgovernado. Tanto a metáfora freudiana quanto a platônica destacam a considerável independência e a tensão entre as partes constituintes do psiquismo, um ponto que caracteriza a condição humana e ao qual

voltaremos. Em vista das conexões neuranatômicas entre os três componentes, o cérebro trino, à semelhança da carroça de *Fedro*, também deve ser uma metáfora; mas pode ser que ela se revele de grande utilidade e profundidade.

Mosaico II de M. C. Escher

IV O Éden, uma metáfora: a evolução do homem

Então não estarias pouco inclinado
A deixar este Paraíso, mas possuirias
Um Paraíso dentro de ti, mais feliz ainda...
De mãos dadas, com passos erantes e lentos
Através do Éden, tomaram seu rumo solitário.

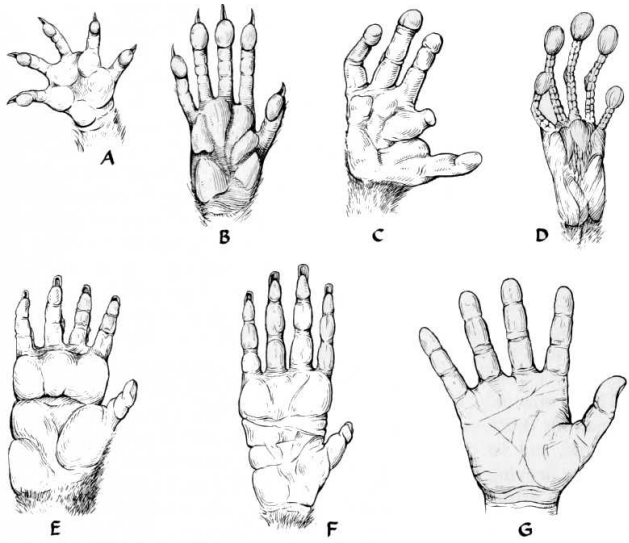
John Milton
Paraíso Perdido

Por que deixaste os palmilhados caminhos dos homens
Tão cedo, e com tuas frágeis mãos, embora com coração valoroso,
Ousaste desafiar o dragão indomado em seu covil?
Indefeso como te achavas, oh, onde estava então
A Sabedoria, o escudo espelhado?

Percy Bysshe Shelley
Adonais

Levando em conta sua superfície corporal, os insetos pesam muito pouco. Um besouro, quando cai de uma grande altitude, atinge rapidamente a velocidade final: a resistência do ar evita que ele caia muito depressa e, após pousar no solo, sai andando aparentemente sem qualquer dano. O mesmo se aplica a pequenos mamíferos como, por exemplo, o esquilo. Um camundongo pode ser arremessado em um poço com 300 metros de profundidade e, se o solo for macio, chegará tonto, mas não estropiado. Em contraposição, os seres humanos são caracteristicamente feridos ou mortos por qualquer queda de altura superior a 2 metros; em virtude de nosso tamanho, pesamos muito para nossa superfície corporal. Nossos ancestrais tinham, por conseguinte, de tomar muito cuidado. Qualquer erro na passagem de galho a galho podia ser fatal. Cada pulo representava uma oportunidade para a evolução. Poderosas forças seletivas estavam em jogo para produzir organismos com graça e agilidade, visão binocular acurada, versáteis habilidades de manipulação, soberba coordenação oculomanual e uma concepção intuitiva da gravitação newtoniana. Cada uma dessas habilidades, entretanto, exigia consideráveis avanços na evolução dos cérebros e particularmente do neocórtex de nossos ancestrais. A inteligência humana, fundamentalmente, deve muito aos milhões de anos em que nossos ancestrais pularam de galho em galho no alto das árvores.

O apogeu pleistocênico. Da esquerda para a direita: Homo habilis, Homo erectus, homem de Neanderthal, homem de Cro-Magnon.



As mãos dos animais são adaptadas a seus estilos de vida, e vice-versa. Mostramos aqui a do gambá (A), do musaranho-arborícola (B), do potó (C), do társio (D), do babuíno (E) (caso em que este apêndice em parte como mão e em parte como pé), do orangotango (F) (alongado para agarrar galhos) e do homem (G) (com um polegar em oposição relativamente longo). [De *Mankind in the Making*, de William Howells, desenho de Janis Cirulis (Doubleday)]

E depois que retornamos à savana e abandonamos as árvores, será que ansiamos por aqueles enormes saltos graciosos e aqueles momentos de êxtase da imponderabilidade nos raios de luz do topo das florestas? Será o reflexo do abraço das criancinhas hoje uma tentativa de evitar a queda do alto das árvores? Seriam nossos sonhos noturnos de voar e nossa paixão diurna pelo vôo, como exemplificaram as vidas de Leonardo da Vinci e Konstantin Tsiolkovski, nostálgicas reminiscências daqueles dias passados nos galhos altos das florestas[9]?

Outros mamíferos, mesmo não-primatas e não-cetáceos, possuem neocórtex. Mas, na linha evolutiva que deu origem ao homem, quando foi que se deu o primeiro desenvolvimento em grande escala do neocórtex? Embora nenhum de nossos ancestrais símios se encontre à disposição, essa questão pode ser respondida, ou pelo menos abordada: podemos examinar os crânios fósseis. Nos seres humanos, macacos e antropoides, assim como em outros mamíferos, o volume cerebral quase preenche o crânio. Isso não vale, por exemplo, em relação aos peixes. Portanto, tomando o molde de um crânio, podemos determinar o que se denomina o volume intracraniano de nossos ancestrais imediatos e parentes colaterais, e podemos fazer uma grosseira estimativa de seus volumes cerebrais.

A indagação de quem foi e quem não foi ancestral do homem ainda é tema de acalorado debate entre os paleontólogos e quase não há um ano em que não se

9 A moderna tecnologia dos foguetes e a exploração espacial têm um incalculável débito para com o Dr. Robert H. Goddard, que, através de muitas décadas de dedicada e solitária pesquisa, foi, sozinho, responsável pelo desenvolvimento de todos os aspectos importantes do foguete moderno. O interesse de Goddard por esse assunto originou-se em um momento mágico. No outono de 1899, na Nova Inglaterra, Goddard era um colegial de dezessete anos de idade que, ao subir em uma cerejeira, olhando vagamente para baixo, experimentou uma espécie de visão divina de um veículo que transportava os seres humanos para o planeta Marte. Ele resolveu empenhar-se na tarefa. Exatamente um ano mais tarde, subiu na árvore novamente e em todo dia 19 de outubro, por todo o resto de sua vida, ele fazia questão de rememorar aquele momento. Teria sido por acaso que essa visão de viagens interplanetárias, que levou diretamente à sua própria realização histórica, foi vislumbrada nos galhos de uma árvore?

descubra algum fóssil de aspecto notavelmente humano muito mais antigo do que jamais se supusera antes possível. O que parece inquestionável é que há cerca de 5 milhões de anos havia abundância de antropoides, os australopitecíneos gráceis, que caminhavam sobre dois pés e tinham volume cerebral de aproximadamente 500 cm^3, cerca de 100 a mais do que o cérebro do chimpanzé moderno. De posse deste indício, os paleontólogos deduziram que o "bipedalismo precedeu a encefalização", o que equivale a dizer que nossos ancestrais caminhavam sobre dois pés antes de desenvolverem grandes cérebros.

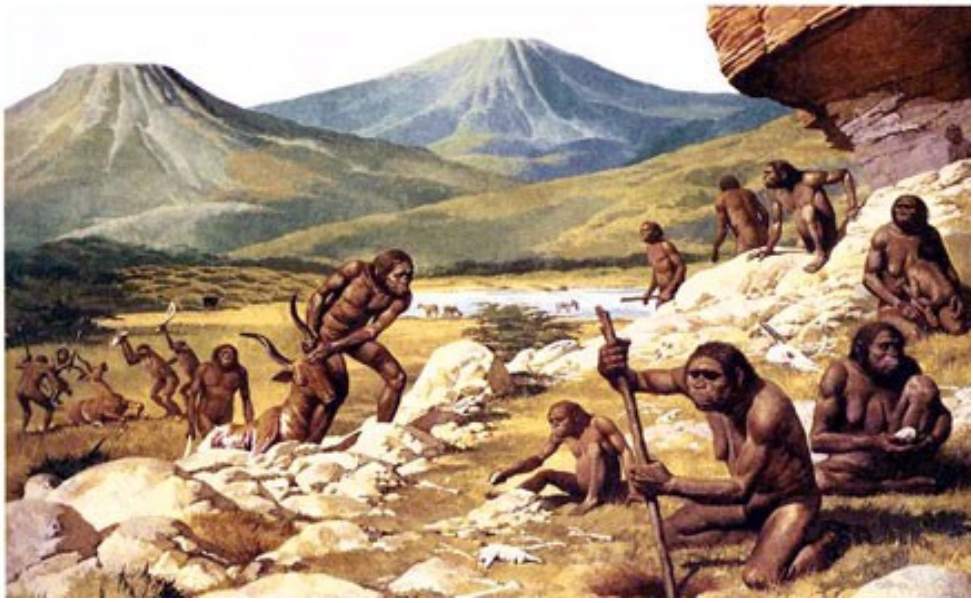
Há 3 milhões de anos, existia uma série de indivíduos bípedes com grande variedade de volume craniano, alguns consideravelmente maiores que os do australopitecíneo grácil da África Oriental, que viveu alguns milhões de anos antes. Um deles, o qual L. S. B. Leakey, o estudioso anglo-queniano do homem primitivo, chamou Homo habilis, tinha um volume cerebral aproximado de 700 cm^3. Também dispomos de provas arqueológicas de que o *Homo habilis* fabricava ferramentas. O conceito de que as ferramentas representavam tanto a causa quanto o efeito do bipedalismo, liberando as mãos, foi concebido pela primeira vez por Darwin. O fato de que essas importantes transformações no comportamento se fazem acompanhar de transformações igualmente importantes no volume cerebral não prova que umas sejam causadas pelas outras; nossa exposição prévia, contudo, faz parecer muito provável essa ligação causal.

O quadro seguinte resume as evidências fósseis, até 1976, de nossos ancestrais e parentes colaterais mais recentes. Os dois tipos razoavelmente diferentes de australopitecíneos não pertenciam ao gênero *Homo*, não eram humanos; eles ainda eram incompletamente bípedes e possuíam massa cerebral com apenas um terço do tamanho do cérebro do adulto médio de hoje. Se encontrássemos um australopitecíneo no metrô, por exemplo, talvez ficássemos mais impressionados com a quase total ausência de testa. Ele era o mais rude dos rudes. Existem consideráveis diferenças entre as duas espécies de australopitecíneos. A espécie robusta era mais alta e mais pesada, com dentes mais marcantes em forma de "quebra-nozes" e uma impressionante estabilidade evolutiva. O volume intracraniano do *A. robustus* varia muito pouco de espécime a espécime no decorrer de milhões de anos. O australopitecíneo grácil, a julgar novamente por seus dentes, provavelmente se alimentava tanto de carne quanto de legumes. Era menor e mais ágil, como seu nome indica. Entretanto, é consideravelmente mais antigo e possui muito maior variabilidade do volume intracraniano do que seus primos robustos. O mais importante, porém, é que os locais onde vivia o australopitecíneo grácil revelam uma óbvia indústria: a manufatura de ferramentas feitas de pedra e ossos de animais, chifres e dentes — laboriosamente entalhadas, lascadas, atritadas e polidas para fabricar instrumentos capazes de desbastar, lascar, moer e cortar. Nenhuma ferramenta foi atribuída ao *A. robustus*. A razão entre o peso do cérebro e o peso corporal é quase duas vezes maior no australopitecínio grácil do que no robusto, e é uma especulação natural imaginar qual dos dois fatores representa a diferença entre ter e não ter instrumentos.

ANCESTRAIS RECENTES E COLATERAIS

Espécie	Primeiro espécime	Volume intracraniano	Altura e peso	Relação entre peso corporal e cerebral	Comentário
Australopithecus robustus (inclusive *Paranthropus* e *Zinjanthropus*)	3,5 m.a.	500-550 cm³	1,5 m (5') 40-60 kg (85-130 lbs.)	~ 90	Aparelho mastigatório potente; crista sagital; provavelmente vegetariano exclusivo; imperfeitamente bípede, sem fronte. Habitava a mata. Sem instrumentos associados.
Australopithecus africanus (australopitecíneo grácil)	6 m.a.	430-600 cm³	1-1,25 m (3'-4') 20-30 kg (45-65 lbs.)	~ 50	Caninos e incisivos mais resistentes; provavelmente onívoro; imperfeitamente bípede; fronte discreta; habitava a mata. Instrumentos de pedra e de osso.
Homo habilis	3,7 m.a.	500-800 cm³	1,2-1,4 m (4'-4,5') 30-50 kg (65-110 lbs.)	~ 60	Fronte alta, definitivamente onívoro. Completamente bípede. Habitava a savana. Instrumentos de pedra, possível construção de edifícios.
Homo erectus (*Pitecanthropus*)	1,5 m.a.	750-1250 cm³	1,4-1,8 m (4,5'-6') 40-80 kg (100-180 lbs.)	~ 65	Fronte alta, definitivamente onívoro. Completamente bípede. Habitação variável. Instrumentos de pedra variados. Invenção do fogo.
Homo sapiens	0,2 m.a.	1100-2200 cm³	1,4-2 m (4,5'-6,5') 40-100 kg (100-200 lbs.)	~ 45	Fronte alta. Definitivamente onívoro. Completamente bípede. Habitat global. Instrumentos de pedra, metal, produtos químicos, eletrônicos, nucleares.

m.a. = milhões de anos



Um grupo de australopitecíneos gráceis há cinco milhões de anos

Praticamente na mesma época do surgimento do *Australopithecus robustus*, apareceu um novo animal, o *Homo habilis*, o primeiro homem verdadeiro. Ele era maior, tanto no físico quanto no tamanho cerebral, do que os dois australopitecíneos e apresentava uma proporção entre peso cerebral e corporal aproximadamente igual à do australopitecíneo grácil. Surgiu numa época em que, por motivos climáticos, as florestas estavam recuando. O *Homo habilis* habitava a vasta savana africana, um ambiente extremamente desafiador, repleto de uma enorme variedade de predadores e presas. Nessas planícies de relva baixa surgiram o primeiro homem e o primeiro cavalo modernos. Eles foram quase que exatamente contemporâneos.

Nos últimos 60 milhões de anos, tem havido uma contínua evolução dos ungulados, bem documentada nos registros fósseis e finalmente culminando no cavalo moderno. O *Eohippus*, o cavalo de uns 50 milhões de anos atrás, tinha o tamanho aproximado de um collie inglês, com um volume cerebral de mais ou menos 25 cm^3, e uma relação entre peso cerebral e peso corporal igual à metade do valor dos mamíferos contemporâneos análogos. Desde então, os cavalos têm experimentado uma impressionante evolução tanto absoluta quanto relativa no tamanho cerebral, com maior desenvolvimento do neocórtex e principalmente dos lobos frontais — uma evolução certamente acompanhada por grandes progressos na inteligência equina. Eu me pergunto se o desenvolvimento paralelo da inteligência do cavalo e do homem poderia ter uma causa em comum. Será que os cavalos, por exemplo, tinham de ser velozes, inteligentes e ter sentidos aguçados para escapar de predadores que caçavam tanto primatas quanto equinos?

O *H. habilis* tinha uma fronte alta, sugerindo razoável desenvolvimento das áreas neocorticais nos lobos frontais e temporais, assim como das regiões cerebrais, a serem discutidas mais tarde, que parecem estar ligadas à linguagem. Caso encontrássemos o *Homo habilis* — vestido na última moda, andando pels avenidas de uma metrópole moderna —, provavelmente lançaríamos apenas um olhar de passagem e assim mesmo devido a sua estatura relativamente baixa. Atribui-se ao *Homo habilis* uma variedade de instrumentos de considerável requinte. Além disso, existem indícios, tais como diversos arranjos circulares de pedras, de que o *Homo habilis* pode ter construído abrigos; que muito antes das eras glaciais pleistocênicas, muito antes de os homens habitarem regularmente as cavernas, o *H. habilis* já construía casas ao ar livre — provavelmente de madeira, varas, palha e pedra.

De vez que o *H. habilis* e o *A. robustus* surgiram na mesma época, é muito improvável que um tenha sido ancestral do outro. O australopitecíneo grácil também era contemporâneo do *Homo habilis*, porém muito mais antigo. Portanto, é possível — embora de forma alguma garantido — que tanto o *H. habilis*, com um futuro promissor, quanto o *A. robustus*, um beco sem saída em termos de evolução, tenham surgido do *A. africanus* grácil, que sobreviveu o suficiente para ser seu contemporâneo.

O primeiro homem cujo volume intracraniano se sobrepõe ao do homem moderno é o *Homo erectus*. Durante muitos anos, os principais espécimes de *H. erectus* conhecidos tiveram origem na China e admitia-se que tivessem meio milhão de

anos de idade. Mas, em 1976, Richard Leakey, do Museu Nacional do Quênia, apresentou um crânio quase completo de *Homo erectus* encontrado em camadas geológicas de 1,5 milhão de anos atrás. Desde que os espécimes chineses de *Homo erectus* associam-se claramente a restos de acampamentos, é possível que nossos ancestrais tenham domesticado o fogo há muito mais que meio milhão de anos — o que torna Prometeu muito mais antigo do que se poderia supor.

Talvez o aspecto mais surpreendente em relação ao registro arqueológico de instrumentos seja o fato de que, assim que começaram a surgir, fizeram-no em enorme abundância. É como se um australopitecíneo grácil inspirado tivesse descoberto pela primeira vez o uso das ferramentas e tivesse imediatamente ensinado a habilidade de fabricá-las a seus parentes e amigos. Não há meio de explicar o surgimento descontínuo dos instrumentos de pedra, a menos que os australopitecíneos contassem com instituições educativas. Deve ter existido alguma espécie de organização do trabalho em pedra que foi passando de geração a geração o precioso conhecimento acerca do fabrico e uso de instrumentos — conhecimento este que impulsionaria finalmente esses frágeis e quase indefesos primatas ao domínio do planeta Terra. Não se sabe se o gênero *Homo* inventou por si mesmo os instrumentos ou se aproveitou a descoberta do gênero *Australopithecus*.

A savana da África oriental próxima a Olduvai Gorge há alguns milhões de anos. No primeiro plano à direita vemos três hominídeos, talvez australopitecíneos, talvez *Homo habilis*. O vulcão ativo ao fundo é o atual monte Ngorongoro.

Vemos no quadro que a relação entre peso cerebral e peso corporal corresponde, dentro da variação das medidas, aproximadamente ao mesmo valor no australopitecíneo grácil, no *Homo habilis*, no *Homo erectus* e no homem moderno. Os progressos que fizemos nos últimos milhões de anos não podem, por conseguinte, ser explicados pela relação entre cérebro e massa corporal, mas pela crescente massa cerebral total, o aperfeiçoamento da especialização de novas funções e de aumento da complexidade cerebral, e — sobretudo — o aprendizado extra-somático.

L. S. B. Leakey destacou que os registros fósseis de alguns milhões de anos atrás são repletos de grande variedade de formas humanoides, das quais um interessante número encontra-se com buracos ou fraturas no crânio. Algumas dessas lesões podem ter sido provocadas por leopardos ou hienas; Leakey e o anatomista sul-africano Raymond Dart, contudo, acreditam que muitas delas foram feitas por nossos ancestrais. Nas eras pliocênica/pleistocênica havia quase certamente uma intensa competição entre muitas formas humanoides, das quais apenas uma estirpe sobreviveu — os habilidosos possuidores de instrumentos –, aquela que nos deu origem. O papel que o ato de matar desempenhou nessa competição permanece uma indagação em aberto. O australopitecíneo grácil era ereto, ágil, veloz e media 1,5 metro de altura: "gente miúda". Não haveria a possibilidade de nossos mitos de gnomos, anões e gigantes serem uma memória genética ou cultural vinda daqueles tempos?

Na mesma época em que o volume craniano do hominídeo sofria um espetacular aumento, deu-se também notável transformação na anatomia humana; como observou o anatomista inglês Sir Wilfred Le Gros Clark, da Universidade de Oxford, houve uma reformulação radical da pelve humana. Isso provavelmente representou uma adaptação para permitir que nascesse vivo o último modelo de bebê com cérebro grande. Hoje, é improvável que qualquer aumento considerável da cintura pélvica na região do canal de parto seja possível sem comprometer sobremaneira a capacidade da mulher de caminhar eficientemente. (Ao nascimento, as meninas já têm uma pelve bem maior, tal como a abertura pélvica esquelética, do que os meninos; outro grande aumento do tamanho da pelve feminina ocorre na puberdade.) O surgimento paralelo desses dois eventos evolutivos ilustra generosamente como funciona a seleção natural. As mães com pelve hereditariamente grande eram capazes de dar à luz crianças com cérebros grandes, que, em virtude de sua inteligência superior, eram capazes de competir com êxito na idade adulta com a prole de cérebro pequeno das mulheres de pelve estreita. Aquele que tivesse uma machadinha de pedra era mais propenso a vencer uma contenda de opiniões nas eras pleistocênicas. E o mais importante, ele era um caçador mais bem-sucedido. A invenção e a manufatura continuada das machadinhas de pedra, entretanto, exigiam maiores volumes cerebrais.

Pelo que sei, o parto em geral só costuma ser doloroso em um dos milhões de espécies terrestres: os seres humanos. Isso deve ser uma consequência do recente e contínuo aumento no volume craniano. Os homens e mulheres modernos têm

caixas cranianas com o dobro do volume das do *Homo habilis*. O parto é doloroso porque a evolução do crânio humano foi espetacularmente rápida e recente. O anatomista americano C. Judson Herrick descreveu o desenvolvimento do neocórtex nos seguintes termos: **"Seu crescimento explosivo em fase tardia da filogenia é um dos casos mais extraordinários de transformação evolutiva na anatomia comparada".** O fechamento incompleto do crânio ao nascimento, as fontanelas, muito provavelmente representa uma acomodação imperfeita a essa recente evolução cerebral.

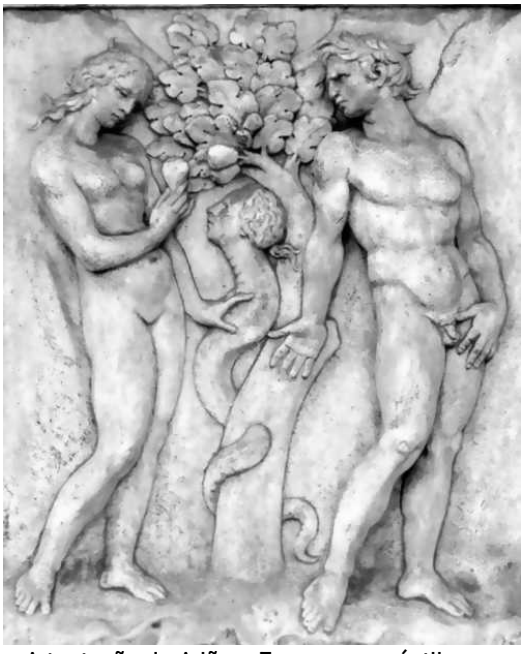
A ligação entre a evolução da inteligência e da dor do parto parece estar inesperadamente expressa no Gênese. Como castigo por comer o fruto da árvore da ciência do bem e do mal, Deus diz para Eva[10]: **"Em meio a dores darás à luz filhos"** (Gênese 3:16). É interessante notar que não é a obtenção de *qualquer* espécie de conhecimento que Deus proibiu, mas especificamente o conhecimento da diferença entre o bem e o mal — ou seja, os julgamentos abstratos e morais que, se é que residem em algum ponto, este é o neocórtex. Mesmo na época em que a história do Éden foi escrita, o desenvolvimento de habilidades cognitivas era visto como gerador de poderes divinos e responsabilidades terríveis para o homem. Disse Deus: **"Eis que o homem se tornou como um de nós, conhecedor do bem e do mal; assim, para que não estenda a mão, e tome também da Árvore da Vida, e coma e viva eternamente"** (Gênese 3:22), ele deve ser expulso do Paraíso. Deus coloca querubins com espada de fogo no Paraíso para guardar a Árvore da Vida da ambição do homem[11].

A criação de Adão: alto-relevo na porta da Igreja de São Petronio, em Bolonha, de autoria de Jacopo della Quercia. (Foto Alinari)

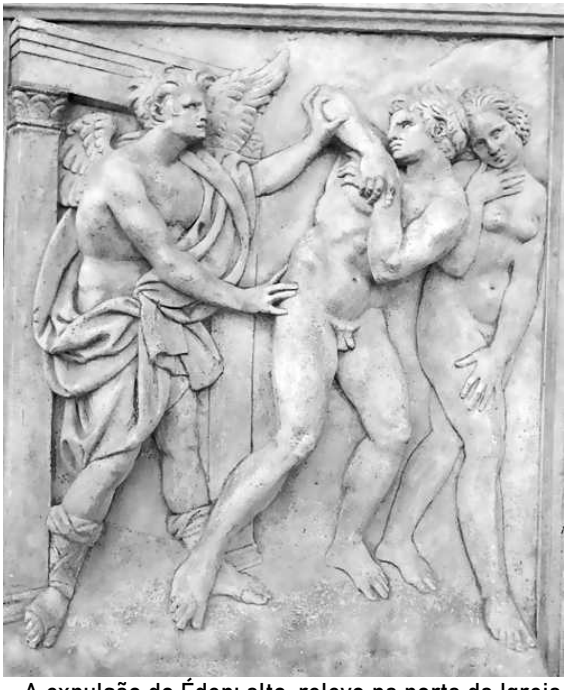
10 A sentença de Deus em relação à serpente foi que daí por diante "rastejarás sobre o teu ventre" — implicando um modo alternativo de locomoção dos répteis anteriormente. Isso, naturalmente, corresponde à verdade: as serpentes evoluíram a partir de ancestrais répteis dotados de quatro patas semelhantes a dragões. Muitas serpentes ainda hoje guardam vestígios anatômicos dos membros de seus ancestrais.

11 O Gênese 3:24 especifica uma espada flamejante. Presumivelmente, espadas flamejantes andavam em falta.

Talvez o Jardim do Éden não seja tão diferente da Terra sob o ponto de vista de nossos ancestrais de uns 3 ou 4 milhões de anos atrás durante uma lendária idade áurea em que o gênero *Homo* estava perfeitamente unido a outras feras e vegetais. Após o exílio do Éden, vemos no contexto bíblico a espécie humana condenada à morte; ao trabalho árduo; ao uso de roupas e à moderação como preventivos da estimulação sexual; ao domínio dos homens sobre as mulheres; à domesticação das plantas (Caim); à domesticação dos animais (Abel); e ao crime (Caim mata Abel). Isso tudo corresponde razoavelmente bem aos indícios históricos e arqueológicos. Na metáfora do Éden, não há evidências de crime antes da expulsão do Paraíso. Mas os crânios fraturados de bípedes não-pertencentes à linha evolutiva do homem podem significar que nossos ancestrais matavam, mesmo no Éden, muitos animais semelhantes ao próprio homem.



A tentação de Adão e Eva por um réptil com cabeça notavelmente humana: alto-relevo na porta da Igreja de São Petronio, em Bolonha, de autoria de Jacopo della Quercia. (Foto Alinari)



A expulsão do Éden: alto-relevo na porta da Igreja de São Petronio, em Bolonha, de Jacopo della Quercia. (Foto Alinari)

A civilização não se desenvolveu a partir de Abel, mas de Caim, o criminoso. A palavra "civilização" deriva da palavra latina correspondente a cidade. O tempo de lazer, a organização comunitária e a especialização do trabalho nas primeiras cidades é que permitiram o surgimento das artes e da tecnologia, as quais consideramos a característica básica das civilizações. A primeira cidade, de acordo com o Gênese, foi construída por Caim, inventor da agricultura — uma tecnologia que exige residência fixa. E foram seus descendentes, os filhos de Lamech, que inventaram tanto o "trabalho com latão e ferro" quanto os instrumentos musicais. A

metalurgia e a música — tecnologia e arte — originam-se de Caim. E as paixões que levam ao crime não se reduzem. Lamech diz: "**Pois eu matei um homem por me ter ferido e um jovem por me ter ofendido; se Caim for vingado sete vezes, Lamech o será 77 vezes**". A ligação entre crime e invenção nos tem acompanhado desde então. Ambos derivam da agricultura e da civilização.

Uma das primeiras consequências da capacidade de prever que acompanharam a evolução dos lobos pré-frontais deve ter sido a consciência da morte. O homem é provavelmente o único organismo da Terra com visão relativamente clara da inevitabilidade de sua morte. As cerimônias fúnebres que incluem o sepultamento de alimentos e utensílios junto com o falecido remontam pelo menos ao tempo de nossos primos de Neanderthal, sugerindo não apenas uma vasta consciência da morte, mas também uma cerimônia ritual já desenvolvida para manter o falecido na vida do além. Não é que a morte não existisse antes do espetacular crescimento do neocórtex, antes da expulsão do Paraíso; o fato é que, até então, ninguém se tinha dado conta de que a morte seria seu destino.

A expulsão do Éden parece ser uma metáfora para alguns dos principais acontecimentos biológicos na evolução humana recente. Pode ser que isso seja responsável por sua popularidade[12]. Não é tão notável a ponto de nos obrigar a crer em uma espécie de memória biológica dos acontecimentos históricos, mas parece-me suficientemente próximo para arriscar pelo menos levantar a questão. O único repositório de tal memória biológica é, naturalmente, o código genético.

Há 55 milhões de anos, no Período Eocênico, havia uma grande proliferação de primatas, tanto arbóreos quanto terrestres, e a evolução de uma linhagem de descendência que finalmente levou ao homem. Alguns primatas daquela época — por exemplo, um pró-símio denominado *Tetonius* — exibem em seus moldes intracranianos diminutas protuberâncias onde os lobos frontais mais tarde se desenvolverão. A primeira evidência fóssil de um cérebro de aspecto apenas vagamente humano data de 18 milhões de anos atrás, no Período Miocênico, quando surgiu um antropoide que denominamos *Proconsul* ou *Dryopithecus*. O *Proconsul* era quadrúpede e arbóreo, provável ancestral dos grandes macacos modernos e possivelmente também do *Homo sapiens*. Ele é, em linhas gerais, aquilo que poderíamos esperar de um ancestral comum dos macacos e do homem. (Seu contemporâneo próximo, o *Ramapithecus*, é considerado por alguns antropólogos um ancestral do homem.) Os moldes intracranianos do *Proconsul* mostram lobos frontais reconhecíveis, mas muito menos desenvolvidos que os dos macacos de hoje e do homem. Seu volume craniano era ainda muito pequeno. O maior surto de evolução do volume craniano ocorreu nos últimos milhões de anos.

Os pacientes que foram submetidos a lobotomias pré-frontais têm sido descritos como perdedores da "sensação de continuidade do próprio ser" — o sentimento de que sou determinado indivíduo com certo controle sobre minha vida e minhas

12 No Ocidente. Naturalmente existem inúmeros mitos perspicazes e profundos a respeito da origem da humanidade em outras culturas humanas.

circunstâncias, a minha essência, a singularidade do indivíduo. É possível que os mamíferos inferiores e os répteis, carecendo de lobos frontais extensos, também careçam dessa sensação, real ou ilusória, da individualidade e do livre-arbítrio, tão característicos da espécie humana e que podem ter sido pela primeira vez experimentados de forma rudimentar pelo *Proconsul*. O desenvolvimento da cultura humana e a evolução dos aspectos fisiológicos que consideramos caracteristicamente humanos, mais provavelmente, prosseguiram — quase literalmente — de mãos dadas: quanto melhores nossas predisposições genéticas para correr, comunicar e manipular, tanto mais provavelmente desenvolveríamos instrumentos eficazes e estratégias de caça; quanto mais adaptáveis nossos instrumentos e estratégias de caça, tanto mais provável seria a sobrevivência de nossos dotes genéticos característicos. O antropólogo americano Sherwood Washburn, da Universidade da Califórnia, o maior defensor desse ponto de vista, afirma: "**Muito do que consideramos humano evoluiu muito depois do uso de instrumentos. Talvez seja mais correto considerar grande parte de nossa estrutura resultado da cultura do que considerar que o homem anatomicamente semelhante a nós desenvolveu lentamente a cultura**".

Alguns estudiosos da evolução humana admitem que parte da pressão de seleção subjacente a esse enorme surto na evolução cerebral ocorreu no córtex motor e não teve início nas regiões neocorticais responsáveis pelos processos cognitivos. Eles salientam a notável capacidade de os seres humanos lançarem projéteis com precisão, moverem-se graciosamente e — como Louis Leakey apreciava ilustrar por demonstração direta —, nus, ultrapassarem e imobilizarem animais de caça. Esportes como o beisebol, o futebol, a luta livre, o xadrez e as guerras podem dever seu encanto — assim como a grande influência do sexo masculino — a essas habilidades caçadoras preestabelecidas, que tanto nos serviram durante milhões de anos da história humana, mas que hoje encontram pouca aplicação prática.

A caçada e a defesa efetiva contra predadores representavam, ambas, aventuras arriscadas onde a cooperação era necessária. O ambiente no qual o homem se desenvolveu — na África, nas eras Pliocênica e Pleistocênica — era habitado por grande variedade de mamíferos carnívoros aterrorizantes, sendo talvez os mais medonhos os bandos de grandes hienas. Era muito difícil defender-se sozinho de um tal bando. Tocaiar grandes animais, quer solitários ou em manadas, é perigoso; é necessário certa comunicação por gestos entre os caçadores. Sabemos, por exemplo, que logo após o homem ter penetrado na América do Norte através do estreito de Bering, no Período Pleistocênico, houve uma matança maciça e espetacular de grandes animais de caça, geralmente conduzidos pelos penhascos. A fim de espreitar um único gnu ou conduzir uma manada de antílopes em pânico para a morte, os caçadores devem compartilhar pelo menos de uma linguagem simbólica mínima. O primeiro ato de Adão foi linguístico — muito antes da expulsão do Paraíso e mesmo antes da criação de Eva: ele deu nome aos animais do Éden.

Algumas formas de linguagem simbólica por gestos, naturalmente, tiveram origem muito antes dos primatas; os canídeos e muitos outros mamíferos que exibem domínio hierárquico podem indicar a submissão desviando os olhos ou expondo o pescoço. Já mencionamos outros rituais de submissão em primatas, como os macacos. As saudações humanas de se curvar, balançar a cabeça e fazer reverência podem ter origem semelhante. Inúmeros animais parecem transmitir amizade através de mordidas não suficientemente fortes para doer, como se dissessem: "Sou capaz de morder você, mas não quero fazê-lo". A elevação da mão direita como símbolo de saudação entre os seres humanos possui exatamente o mesmo significado: "Eu poderia atacá-lo com uma arma, mas não quero empunhar uma"[13].

Ricas linguagens gestuais foram empregadas por muitas comunidades humanas caçadoras — por exemplo, entre os índios da planície, que também utilizavam os sinais de fumaça. Segundo Homero, a vitória dos helênicos em Troia foi comunicada de Ilium até a Grécia, uma distância de algumas centenas de milhas, através de uma série de sinais de fumaça. A época era aproximadamente 1100 a.C. Entretanto, o repertório de ideias e a velocidade com que as ideias podem ser comunicadas pela linguagem através de gestos ou sinais são limitados. Darwin assinalou que as linguagens gestuais não podem ser efetivamente empregadas quando nossas mãos estão ocupadas com outras coisas, ou à noite, ou quando a visão das mãos está impedida. Pode-se imaginar que as linguagens por gestos foram gradualmente complementadas e depois suplantadas pelas linguagens verbais — que originariamente devem ter sido onomatopaicas (ou seja, imitativas do som do objeto ou da ação descrita). As crianças chamam os cachorros de "au-au". Em quase todas as línguas humanas, a palavra pela qual a criança chama a "mãe" parece imitar o som produzido inadvertidamente pelo sugar do seio materno. Tudo isso, contudo, não poderia ter ocorrido sem uma reestruturação do cérebro.

Sabemos, a partir de restos de esqueletos relacionados com o homem primitivo, que nossos ancestrais eram caçadores. Sabemos o suficiente a respeito da caça dos grandes animais para percebermos a necessidade de alguma linguagem para a caçada em conjunto. Mas as ideias sobre a antiguidade da linguagem receberam uma medida de inesperado apoio através dos estudos pormenorizados de moldes fósseis realizados pelo antropólogo americano Ralph L. Holloway, da Universidade de Colúmbia. Os moldes de crânios fósseis de Holloway são feitos de látex de borracha, e ele tenta deduzir algo da minuciosa morfologia do cérebro a partir da forma do crânio. É como uma espécie de frenologia, mas no interior, não no

13 A mão direita erguida e aberta é às vezes considerada um ''símbolo universal" de boa vontade. Pelo menos é ela que maneja as lanças, dos grandes pretorianos aos índios guerreiros. Uma vez que essas armas empunháveis são, na história humana, caracteristicamente masculinas, deve-se tratar caracteristicamente de uma saudação masculina. Por tais motivos, entre outros, a placa da nave espacial Pioneer 10 – o primeiro artefato lançado pelo homem para ultrapassar o sistema solar — incluía o desenho de um homem e uma mulher nus, com a mão do homem espalmada e erguida, em saudação (ver ilustração da página **146**). No livro *A Conexão Cósmica* descrevo os seres humanos da placa como a parte mais obscura da mensagem. Entretanto, eu me pergunto: poderia o gesto do homem ser compreendido por seres com biologias inteiramente diversas?

exterior, e com base muito mais lógica. Holloway acredita que uma região do cérebro conhecida como área de Broca, um dos diversos centros indispensáveis à fala, pode ser identificada nos moldes internos dos fósseis; e ele descobriu indícios da área de Broca em um fóssil de *Homo habilis* com mais de 2 milhões de anos de idade. O desenvolvimento da linguagem, dos instrumentos e da cultura podem ter ocorrido mais ou menos simultaneamente.

Por falar nisso, existiram criaturas humanoides que viveram há apenas algumas dezenas de milhares de anos — o homem de *Neanderthal* e o de *Cro-Magnon* — que apresentavam volumes cerebrais de 1500 cm^3 em média; ou seja, ultrapassavam o nosso em mais de 100 cm^3. Os antropólogos, em sua maioria, supõem que não descendemos do homem de *Neanderthal* e não devemos descender também do homem de *Cro-Magnon*. Suas existências, entretanto, suscitam a indagação: quem eram aqueles camaradas? Quais eram seus talentos? O homem de *Cro-Magnon* também era muito grande: alguns espécimes tinham muito mais de 1,80 metro de altura. Já vimos que uma diferença de 100 cm^3 no volume cerebral não parece importante, e talvez eles não fossem mais inteligentes do que nós ou nossos ancestrais imediatos; ou talvez eles tivessem outras dificuldades físicas ainda desconhecidas. O homem de *Neanderthal* era rude, mas sua cabeça era comprida no sentido anteroposterior; em contraposição, nossas cabeças não são tão profundas, mas são mais altas. Teria o crescimento cerebral do homem de *Neanderthal* ocorrido nos lobos parietais e occipitais, e o principal desenvolvimento cerebral de nossos ancestrais nos lobos frontais e temporais? Será que o homem de *Neanderthal* desenvolveu uma mentalidade bastante diferente da nossa, e que nossa capacidade linguística superior e nossas habilidades de previsão nos permitiram destruir completamente nossos corpulentos e inteligentes primos?

Pelo que sabemos, nada de semelhante à inteligência humana surgiu na Terra antes de alguns milhões, ou pelo menos algumas dezenas de milhões de anos atrás Mas isso representa décimos de 1% da idade da Terra, no final de dezembro no Calendário Cósmico. Por que apareceu tão tarde? Parece claro que a resposta reside no fato de alguma propriedade particular dos cérebros dos primatas superiores e dos cetáceos não se ter desenvolvido senão recentemente. Mas que propriedade é essa? Posso sugerir pelo menos quatro possibilidades, todas já mencionadas, quer explícita, quer implicitamente: (1) nunca houve antes um cérebro tão maciço; (2) nunca houve antes um cérebro com relação tão grande entre sua massa e a massa corporal; (3) nunca houve antes um cérebro com determinadas unidades funcionais (lobos frontais e temporais grandes, por exemplo); (4) nunca houve antes um cérebro com tantas conexões e sinapses nervosas. (Parecem existir indícios de que, juntamente com a evolução do cérebro humano, pode ter havido um aumento do número de conexões de cada neurônio com seu vizinho e do número de microcircuitos.) As explicações 1, 2 e 4 argumentam que uma transformação quantitativa produziu uma transformação qualitativa. Não me parece que uma escolha bem definida entre essas quatro alternativas possa ser feita no momento, e suspeito que a verdade abrangerá realmente grande parte, se não todas essas possibilidades.

Sir Arthur Keith, estudioso inglês da evolução humana, propôs aquilo que ele chamou de "Rubicão"[14] na evolução do cérebro humano. Ele considerou que com o volume cerebral do *Homo erectus* — aproximadamente 750 cm^3, mais ou menos uma cilindrada de uma motocicleta veloz — as qualidades exclusivamente humanas começaram a surgir. O "Rubicão" pode ter sido, naturalmente, mais qualitativo do que quantitativo. Talvez a diferença não fosse tanto o acréscimo de 200 cm^3, mas algumas evoluções específicas nos lobos frontal, temporal e parietal que nos proporcionaram a capacidade analítica, a previsão e a ansiedade.

Enquanto debatemos a que corresponde o Rubicão, a ideia de alguma espécie de Rubicão não está fora de propósito. Mas se existe um Rubicão em algum ponto próximo a 750 cm^3, já que diferenças da ordem de 100 a 200 cm^3 — pelo menos para nós — não parecem ser determinantes obrigatórios da inteligência, não seriam os antropoides inteligentes de alguma forma reconhecidamente humana? O volume cerebral típico de um chimpanzé gira em torno de 400 cm^3; o do gorila das terras baixas, 500. Esses são os limites de variação dos volumes cerebrais entre os australopitecíneos gráceis utilizadores de instrumentos.

O historiador judeu Josephus acrescentou à lista de penalidades e tribulações que acompanham o exílio da espécie humana do Éden a perda de nossa capacidade de comunicação com os animais. Os chimpanzés possuem grandes cérebros; apresentam o neocórtex bem desenvolvido; eles também têm longas infâncias e extensos períodos de plasticidade. Serão capazes do pensamento abstrato? Se são inteligentes, por que não falam?

O desenvolvimento da linguagem humana representou um ponto crucial na evolução do homem. Entre seus pontos mais altos, encontram-se as culturas de transmissão oral antes da invenção da escrita.

(Foto de Nat Farbman, Life. Cortesia da Time-Life Picture Agency, © Time Inc.)

14 Rio que separava a Itália da Gália Cisalpina, ao norte. Em 49 a.C., ao cruzar este rio para combater Pompeu, Júlio César comprometeu-se a conquistar ou perecer.

V As abstrações das feras

> Eu vos peço, e ao mundo inteiro, que me mostreis um caráter genérico (...) através do qual se possa distinguir entre o homem e o macaco. Posso assegurar que não conheço nenhum. Desejo que alguém me indique um. Contudo, se tivesse dito que o homem é um macaco, ou vice-versa, ter-me-ia exposto à sanha de todos os eclesiásticos. Pode ser que, como naturalista, eu devesse ter feito isso.
>
> Carl Linnaeus, criador da taxonomia, 1788

"As feras não têm capacidade de abstração", afirmou John Locke, exprimindo a opinião predominante entre a espécie humana no decorrer de toda a história registrada. O Bispo Berkeley teve, entretanto, uma réplica sardônica: "Se o fato de os brutos não terem capacidade de abstração for considerado propriedade distintiva desse tipo de animal, receio que grande parte daqueles que passam por homens deva ser incluído em seu número". O pensamento abstrato, pelo menos em suas variedades mais sutis, não é um companheiro invariável do dia-a-dia para o homem comum. Poderia o pensamento abstrato ser uma questão não de espécie, mas de grau? Seriam outros animais capazes de ter pensamento abstrato, mas com frequência e profundidade menor que os seres humanos?

Temos a impressão de que os outros animais não são muito inteligentes. Mas será que examinamos cuidadosamente a possibilidade da inteligência animal, ou, como no pungente filme *O Menino Selvagem*, de François Truffaut, será que nós simplesmente igualamos a ausência de nosso estilo de expressão de inteligência à ausência de inteligência? Ao debater a comunicação com os animais, o filósofo francês Montaigne assinalou: "Por que o defeito que impede a comunicação entre nós e eles não pode ser de nossa parte assim como da deles?"[15]

Existe, naturalmente, um volume considerável de informação anedótica a favor da inteligência do chimpanzé. O primeiro estudo sério do comportamento dos símios — inclusive seu comportamento em estado selvagem — foi realizado na

15 Nossas dificuldades em compreender os animais ou efetuar comunicação com eles pode advir de nossa relutância em aceitar formas inusitadas de lidar com o mundo. Por exemplo, os golfinhos e as baleias, que percebem seus arredores através de uma elaborada técnica de localização por eco (sonar), também se comunicam através de um elaborado conjunto de estalidos, cuja interpretação tem até agora frustrado as tentativas de compreensão por parte do homem. Uma recente sugestão, muito inteligente, que está sendo pesquisada, é que a comunicação golfinho/golfinho envolve a recriação das características de reflexão pelo sonar dos objetos descritos. De acordo com esse ponto de vista, um golfinho não "pronuncia" uma palavra para designar o tubarão, mas transmite uma série de estalidos correspondentes ao espectro de reflexão auditiva que seria obtido ao irradiar um tubarão com ondas sonoras no estilo sonar do golfinho. A forma fundamental da comunicação golfinho/golfinho nesse encadeamento seria uma espécie de onomatopeia aural, um esboço de figuras de frequência auditiva — nesse caso, caricaturas de um tubarão. Poderíamos bem imaginar a extrapolação dessa linguagem de ideias concretas para abstratas, e através do uso de uma espécie de enigma figurado auditivo — ambos análogos ao desenvolvimento das linguagens humanas escritas na Mesopotâmia e no Egito. Seria, então, possível que os golfinhos criassem imagens auditivas extraordinárias a partir de sua imaginação, em vez de sua experiência.

Indonésia por Alfred Russel Wallace, o co-descobridor da evolução através da seleção natural. Wallace concluiu que um filhote de orangotango comportava-se "exatamente como um bebê humano em circunstâncias semelhantes". Na verdade, "orangotango" é uma expressão malaia que significa "homem da floresta", e não antropoide. Teuber recontou muitas histórias contadas por seus pais, etologistas alemães pioneiros que fundaram o primeiro observatório de pesquisas dedicado ao comportamento do chimpanzé em Tenerife, nas ilhas Canárias, na segunda década deste século, e nele trabalharam. Foi aí que Wolfgang Kohler realizou seus famosos estudos de Sultan, um chimpanzé "gênio" que era capaz de conectar dois bastões a fim de alcançar uma banana de outra forma inacessível. Em Tenerife, também, dois chimpanzés foram observados maltratando uma galinha: um deles estendia o alimento para a ave, incentivando-a a aproximar-se; enquanto isso, o outro arremetia golpes contra ela com um pedaço de arame que escondera nas costas. A galinha recuava, mas logo se aproximava novamente — e novamente era atingida. Eis aí uma requintada combinação de comportamento às vezes considerada exclusivamente humana: cooperação, planejamento de uma sequência futura de ações, simulação e crueldade. Também revela que as galinhas têm uma ínfima capacidade de aprender o comportamento esquivo.

Até alguns anos atrás, a mais longa tentativa de se comunicar com os chimpanzés transcorreu da seguinte forma: um chimpanzé recém-nascido foi admitido ao convívio doméstico com uma criança recém-nascida e os dois seriam criados juntos — berço duplo, carrinhos duplos, cadeira alta dupla, canecas duplas, baldes de fraldas duplos, latas de talco duplas. Ao final de três anos, o jovem chimpanzé superara naturalmente o menino na destreza manual, corrida, salto, subida e outras habilidades motoras. Mas, enquanto a criança tagarelava alegremente, o pequeno chimpanzé falava apenas, e ainda assim com enorme dificuldade, as palavras em inglês correspondentes a mamãe, papai e xícara ("mama", "papa", "cup"). A partir dessa experiência, conclui-se amplamente que na linguagem, no raciocínio e em outras funções mentais, os chimpanzés têm apenas mínima competência: "As feras não têm capacidade de abstração".

Mas ao analisar pormenorizadamente essas experiências, dois psicólogos, Beatrice e Robert Gardner, da Universidade de Nevada, perceberam que a faringe e a laringe do chimpanzé não são apropriadas à linguagem humana. Os seres humanos apresentam um curioso uso múltiplo da boca para comer, respirar e se comunicar. No caso de insetos como o grilo, que chamam um ao outro friccionando as pernas, essas três funções são exercidas por sistemas orgânicos completamente independentes. A linguagem humana falada parece ser adventícia. A utilização de sistemas orgânicos com outras funções para a comunicação nos seres humanos também é indicativa de evolução relativamente recente de nossas habilidades linguísticas. Pode ser, argumentam os Gardner, que os chimpanzés possuam razoável capacidade de linguagem, incapaz de ser expressa em virtude das limitações de sua anatomia. Haveria alguma linguagem simbólica, indagavam, que pudesse aproveitar as forças ao invés das fraquezas da anatomia do chimpanzé?

Os Gardner chegaram a uma brilhante ideia: ensinar a um chimpanzé uma linguagem americana de sinais, conhecida por seu acrônimo *ameslan* (AMErican Sign LANguage) e às vezes por "linguagem americana de surdos e mudos" (o "mudo" [dumb] naturalmente se refere à incapacidade de falar e não a qualquer deficiência de inteligência). É perfeitamente adequada à imensa destreza manual do chimpanzé, e também pode ter todas as características gráficas das linguagens verbais.

Existe agora uma vasta biblioteca de conversas descritas e filmadas utilizando o *ameslan* e outras linguagens gestuais com Washoe, Lucy, Lana e outros chimpanzés estudados pelos Gardner e por outros. Não somente existem chimpanzés com vocabulários operacionais de 100 a 200 palavras, mas também há chimpanzés capazes de distinguir entre padrões gramaticais e sintáticos diferentes. E, mais, eles têm se mostrado notavelmente inventivos na construção de novas palavras e expressões.

Washoe fazendo, em ameslan, o sinal "chapéu" para um gorro de lã.

Ao ver pela primeira vez um pato grasnando quando pousava em um lago, Washoe fez os gestos "ave aquática", que é a mesma expressão em inglês e em outras línguas, mas que Washoe inventou para a ocasião. Não tendo jamais visto uma fruta redonda além da maçã, mas conhecendo os sinais para as principais

cores, Lana, após espiar um técnico comendo uma laranja, fez os sinais "maçã cor de laranja". Depois de provar uma melancia, Lucy descreveu-a como "bebida doce" ("*candy drink*"), ou "bebida fruta" ("*drink fruit*"), que é essencialmente a mesma forma verbal da palavra inglesa para melancia ("*watermelon*"). Mas, depois de ter queimado a boca ao comer pela primeira vez um rabanete, Lucy passou a descrevê-los sempre como "comida fere chora". Uma pequena boneca colocada inesperadamente na xícara de Washoe provocou a resposta "bebê na minha bebida". Quando Washoe evacuava, sobretudo nas roupas e nos móveis, ela era ensinada a fazer o sinal "sujo", o qual ela depois extrapolou como um termo geral para abuso. Um macaco Rhesus que lhe provocou desagrado foi repetidamente chamado por sinais de "macaco sujo, macaco sujo, macaco sujo". Eventualmente, Washoe dizia coisas como "Jack sujo, me dá bebida". Lana, em um momento de aborrecimento criativo, chamou seu treinador de "seu bosta verde". Os chimpanzés inventaram palavrões. Washoe também parece ter uma espécie de humor; uma vez, ao passear montada nos ombros de seu treinador, molhou-o, talvez inadvertidamente, e fez o sinal: "Engraçado, engraçado".

Washoe fazendo, em ameslan, o sinal "doces" para um pirulito.

Lucy foi finalmente capaz de distinguir claramente o significado das orações "Roger faz cócegas em Lucy" e "Lucy faz cócegas em Roger", ambas atividades que

ela apreciava. Da mesma forma, Lana extrapolou de "Tim arruma Lana" para "Lana arruma Tim". Washoe foi vista "lendo" uma revista — isto é, virando lentamente as páginas, examinando atentamente as figuras e fazendo, para ninguém em particular, um sinal compatível, tal como "gato", quando via uma fotografia de um tigre, e "bebida", quando avistava um anúncio de vermute. Tendo aprendido o sinal "abrir" com uma porta, Washoe estendeu o conceito para uma maleta. Ela também tentou conversar em *ameslan* com o gato do laboratório, que passou a ser o único iletrado nas instalações. Tendo adquirido esse fantástico método de comunicação, Washoe deve ter ficado surpresa com o fato de o gato não ser também versado em *ameslan*. E quando um dia Jane, a mãe adotiva de Lucy, deixou o laboratório, Lucy fitou-a e fez o sinal: "Chorar eu. Eu chorar".

Boyce Rensberger é um repórter sensível e bem-dotado do *New York Times* cujos pais não falam nem ouvem, embora ele seja normal em ambos os aspectos. Sua primeira língua, entretanto, foi o *ameslan*. Ele esteve fora, num país europeu, a serviço do *Times* por alguns anos. Quando retornou aos Estados Unidos, uma de suas primeiras atribuições foi fazer a cobertura das experiências dos Gardner com Washoe. Após certo tempo com o chimpanzé, Rensberger relatou: **"De repente me dei conta de que estava conversando com um membro de outra espécie na minha língua nativa".** O uso da palavra *língua* é naturalmente figurativo: implanta-se profundamente na estrutura da linguagem (palavra que também significa "língua"). Na realidade, Rensberger estava conversando com um membro de outra espécie na sua "mão" ["hand"] nativa. E foi justamente essa transição de língua para mão que permitiu aos seres humanos readquirir a capacidade — perdida, de acordo com Josephus, desde o Éden — de se comunicar com os animais.

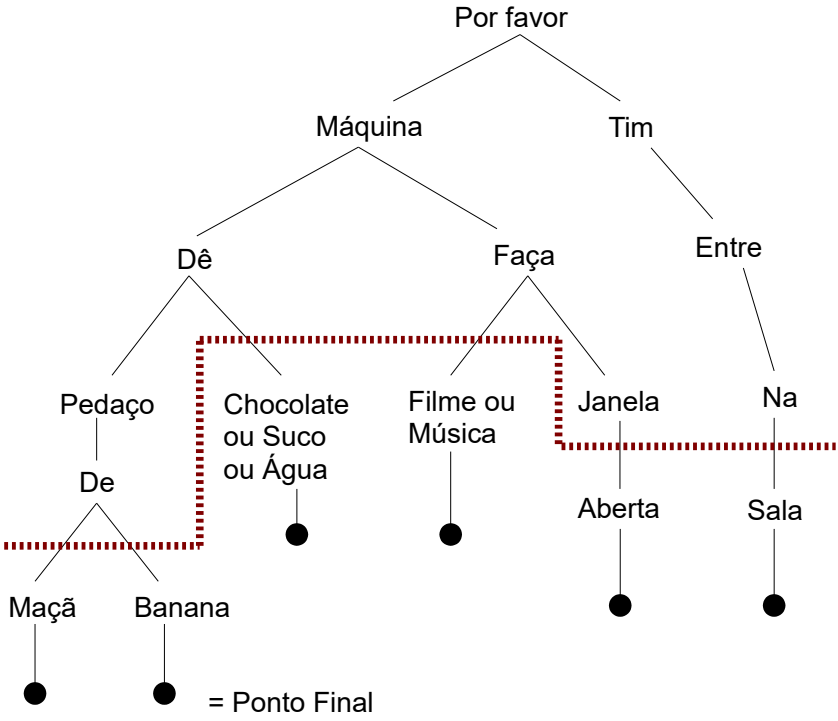
Além do *ameslan*, os chimpanzés e outros primatas não-humanos estão sendo ensinados a se comunicar em diversas outras linguagens gestuais. No Centro de Pesquisas Regional de Primatas de Yorkes em Atlanta, Geórgia, estão aprendendo uma linguagem específica de computador chamada (pelos homens, não pelos chimpanzés) de "*yerkish*". O computador registra todas as conversações, mesmo durante a noite, quando não existe participação de seres humanos; a partir desse serviço, viemos a saber que os chimpanzés preferem o jazz ao rock e os filmes com chimpanzés aos filmes com seres humanos. Lana, em janeiro de 1976, já assistira a *A anatomia evolutiva do chimpanzé* 245 vezes. Ela certamente apreciaria uma coleção de filmes um pouco maior.

Na ilustração, mostramos Lana pedindo em castiço *yerkish* um pedaço de banana ao computador. A sintaxe necessária para pedir ao computador água, suco, chocolate, música, filme, janela aberta e companhia também se encontra exposta. (A máquina satisfaz a muitas das necessidades de Lana, mas nem todas. Às vezes, no meio da noite, ela pede desoladamente "Por favor, máquina, faça cócegas em Lana".) Pedidos e comentários mais elaborados, exigindo o uso criativo de uma forma gramatical estabelecida, foram concebidos subsequentemente.

Lana com seu computador. A barra superior, imediatamente acima da borda, deve ser puxada a fim de ativar o controle. Dispositivos para suco, água, bananas e chocolates ficam próximo da base do console.

Lana controla suas frases na tela do computador e apaga aquelas que contêm erros gramaticais. Numa ocasião, em meio à construção de uma elaborada sentença, o treinador de Lana, maliciosa e repetidamente, intercalou, a partir de seu console separado no computador, uma palavra que não fazia sentido na frase de Lana. Ela fitou a tela do computador, examinou seu treinador em seu console e compôs uma nova frase: "Por favor, Tim, saia da sala". Assim como Washoe e Lucy são capazes de falar, Lana é capaz de escrever.

No início do desenvolvimento das capacidades verbais de Washoe, Jacob Bronowski e um colega escreveram um artigo científico negando a validade do uso da linguagem gestual desempenhada por Washoe porque, nos limitados dados de que Bronowski dispunha, Washoe não indagava nem negava. Observações posteriores, no entanto, mostraram que Washoe e outros chimpanzés eram perfeitamente capazes de formular perguntas, assim como de negar asserções apresentadas. É difícil ver alguma diferença importante na qualidade entre o uso da linguagem gestual dos chimpanzés e o uso da fala comum por crianças, forma que não hesitamos em atribuir à inteligência. Ao ler o artigo de Bronowski, não posso deixar de sentir a infiltração de uma ponta de chauvinismo humano, um eco de "as feras não têm capacidade de abstração" de Locke. Em 1949, o antropólogo americano Leslie White afirmou categoricamente: "O comportamento humano é comportamento simbólico; o comportamento simbólico é comportamento humano". Onde White incluiria Washoe, Lucy e Lana?



O diagrama mostra a árvore lógica necessária para a comunicação de uma série de pedidos. O sistema tanto é gentil quanto gramatical: as solicitações têm de começar com "por favor" e terminar com um ponto final.

Essas descobertas sobre a linguagem e a inteligência dos chimpanzés proporcionam uma intrigante base para os argumentos do Rubicão — a afirmação de que a massa cerebral total, ou pelo menos a relação entre a massa cerebral e a massa corporal, é um índice de inteligência válido. Contra esse ponto de vista já se argumentou que os limites inferiores das massas cerebrais dos microcéfalos superpõem-se aos limites superiores das massas cerebrais dos chimpanzés e gorilas adultos; e mesmo assim, argumentaram, os microcéfalos fazem algum uso da linguagem, embora de forma extremamente precária — enquanto os antropoides nada conseguem. Mas apenas em relativamente poucos casos os microcéfalos são capazes de falar. Uma das melhores descrições comportamentais dos microcéfalos foi feita por um físico russo, S. Korsakov, que em 1893 observou uma mulher microcéfala chamada Masha. Ela compreendia muito poucas perguntas e ordens, e eventualmente recordava os fatos de sua infância. Às vezes ela conversava muito, mas pouca coerência havia naquilo que dizia. Korsakov caracterizou sua fala como de "extrema pobreza em associações lógicas". A título de exemplo de sua inteligência mal-adaptada e autômata, Korsakov descreveu seus hábitos alimentares. Quando havia comida na mesa, Masha comia. Mas se esta fosse subitamente retirada no meio da refeição, ela se comportava como se a refeição tivesse terminado, agradecendo aos que a serviram e se benzendo piedosamente. Se a comida fosse posta de novo, ela passava a comer novamente. O padrão, aparentemente, obedecia a uma repetição indefinida. Minha impressão pessoal é de que Washoe ou Lucy seriam companhia

muito mais interessante para o jantar do que Masha, e que a comparação dos seres humanos microcéfalos com antropoides normais não é incompatível com alguma espécie de "Rubicão" de inteligência. Naturalmente, tanto a qualidade quanto a quantidade de conexões neurais são provavelmente vitais para as espécies de inteligência que podemos facilmente reconhecer.

Experiências recentes realizadas por James Dewson, da Faculdade de Medicina da Universidade de Stanford, e seus colaboradores proporcionam algum suporte fisiológico à ideia de centros da linguagem no neocórtex dos símios — em particular, tal como nos seres humanos, no hemisfério esquerdo. Treinaram-se macacos para apertar uma luz verde quando ouvissem um silvo e uma luz vermelha quando ouvissem um zumbido. Alguns segundos depois de ouvir um som, a luz vermelha ou a verde apareciam em alguma posição imprevisível — diferente de cada vez — no painel de controle. O macaco pressionava a luz certa e, no caso de suposição correta, era recompensado com porções de comida. Posteriormente, o intervalo de tempo entre o ouvir o som e o ver a luz foi aumentado para 20 segundos. A fim de serem recompensados, os macacos agora tinham de lembrar durante 20 segundos qual o som que tinham ouvido. A equipe de Dewson então extirpou cirurgicamente parte do chamado córtex de associação auditiva do hemisfério esquerdo do neocórtex no lobo temporal. Quando retestados, os macacos evidenciaram muito pouca memória do som que ouviam. Depois de menos de um segundo, não podiam mais lembrar se era um silvo ou um zumbido. A extirpação de uma parte comparável do lobo temporal do hemisfério direito não produziu qualquer efeito sobre essa tarefa. Declarou Dewson: **"É como se tivéssemos extirpado a estrutura do cérebro do macaco que pode ser análoga aos centros de linguagem do homem".** Estudos semelhantes com macacos *Rhesus* utilizando estímulos visuais em lugar de auditivos aparentemente não mostram diferença entre os hemisférios do neocórtex.

Em virtude de os chimpanzés serem geralmente considerados perigosos demais (pelo menos assim pensam os guardas do zoológico) para serem mantidos em casa ou em ambiente doméstico, Washoe e outros chimpanzés verbalmente versados têm sido involuntariamente "aposentados" logo após a puberdade. Por conseguinte, até agora não temos experiência com as capacidades de linguagem dos macacos e antropoides adultos. Uma das indagações mais intrigantes é se uma mãe chimpanzé verbalmente versada será capaz de transmitir a linguagem à sua prole. Parece muito provável essa possibilidade e a de que uma comunidade de chimpanzés que tenha sido treinada em linguagem gestual transmita essa linguagem a gerações subsequentes.

Nos casos em que essa comunicação é essencial para a sobrevivência, já existem alguns indícios de que os antropoides transmitem informação extragenética ou cultural. Jane Goodall observou pequenos chimpanzés em estado selvagem imitando o comportamento de suas mães e aprendendo a tarefa razoavelmente complexa de encontrar um galhinho adequado e utilizá-lo para cutucar um ninho de térmitas de forma a obter alguns desses petiscos.

Chimpanzé com uma longa lâmina de gramínea usada como instrumento para espetar térmitas e tirá-los de seus ninhos. (fotografia do barão Hugo van Lawick. © National Geographic Society)

Diferenças no comportamento grupal — algo que nos parece muito tentador chamar de diferenças culturais — foram relatadas entre chimpanzés, babuínos, macacos e muitos outros primatas. Por exemplo, um grupo de macacos pode saber como comer ovos de passarinho enquanto um bando adjacente da mesma espécie não sabe. Tais primatas conhecem uma dúzia de sons ou gritos que são usados para a comunicação intragrupal, com significados do tipo "Fuja, aí vem um predador". O som dos gritos, no entanto, varia bastante de grupo para grupo: existem sotaques regionais.

Uma experiência ainda mais impressionante foi acidentalmente realizada por primatologistas japoneses tentando aliviar a superpopulação e o problema da fome em uma comunidade de macacos numa ilha do sul do Japão. Os antropólogos lançaram grãos de trigo na areia de uma praia. Ora, é muito difícil separar grãos de trigo, um a um, dos grãos de areia; tal esforço poderia despender ainda mais energia do que a adquirida pela ingestão do trigo colhido. Mas uma macaca brilhante, Imo, talvez por acaso ou sem querer, atirou punhados da mistura na água. O trigo flutua, a areia afunda; esse foi um fato que Imo notou claramente. Através do processo de separação ela foi capaz de comer bem (uma dieta de trigo encharcado, é bem verdade). Enquanto os macacos velhos, empenhados à sua maneira, não tomaram conhecimento dela, os macacos mais jovens pareciam perceber a importância de sua descoberta e a imitaram. Na geração seguinte, a prática era mais disseminada; hoje, todos os macacos da ilha sabem fazer a separação pela água, um exemplo de tradição cultural entre os macacos.

Os primeiros estudos realizados no Takasakiyama, uma montanha no nordeste de Kyushu, habitada por macacos, revelam um padrão semelhante na evolução cultural. Os visitantes de Takasakiyama atiravam caramelos embrulhados em papel para os macacos — uma prática comum nos zoológicos japoneses, mas que os macacos de Takasakiyama ignoravam completamente. No decurso da ação, alguns macaquinhos descobriram como desembrulhar os caramelos e comê-los. O hábito foi passado adiante sucessivamente a seus companheiros, suas mães, aos machos dominadores (que entre os macacos desempenham o papel de babás dos menores) e finalmente aos machos subadultos, que se situavam a maior distância social dos macacos mais novos. O processo de aculturação levou mais de três anos. Nas comunidades primatas naturais, as comunicações não-verbais existentes são tão ricas que é exercida pouca pressão para o desenvolvimento de uma linguagem gestual mais elaborada. Se a linguagem gestual fosse, porém, necessária à sobrevivência do chimpanzé, não resta dúvida de que seria transmitida através das gerações.

Eu esperaria um considerável desenvolvimento e elaboração da linguagem em apenas algumas gerações se todos os chimpanzés incapazes de se comunicar morressem ou não conseguissem reproduzir-se. O inglês básico consiste em aproximadamente mil palavras. Os chimpanzés já são versados em vocabulários que excedem 10 por cento desse número. Embora há alguns anos parecesse a mais absurda ficção científica, não me parece fora de cogitação que, após algumas gerações em tal comunidade verbal de chimpanzés, surjam as memórias da história natural e da vida mental de um chimpanzé, publicadas em inglês ou em japonês (talvez com um "era uma vez" no princípio).

Se os chimpanzés têm consciência, se têm capacidade de abstração, não devem eles ter acesso àquilo que se convencionou chamar até agora de "direitos humanos"? Que inteligência o chimpanzé terá de atingir até que seu assassínio seja considerado crime? Que outras propriedades deve demonstrar para que os missionários achem que vale a pena tentar convertê-los a suas religiões?

Recentemente, visitei um grande laboratório de pesquisas com primatas, acompanhado do diretor da instituição. Chegamos a um longo corredor no qual se dispunham, até a linha do infinito, qual desenho em perspectiva, chimpanzés enjaulados. Viviam um, dois ou três em cada jaula e estou certo de que as acomodações eram exemplares, levando-se em conta o tipo de instituição (ou os jardins zoológicos tradicionais). Quando nos aproximamos da jaula mais próxima, seus dois ocupantes arreganharam os dentes e, com incrível precisão, lançaram grandes cusparadas impetuosamente, praticamente ensopando o guarda-pó do diretor. Emitiram então uma salva de guinchos que ecoaram pelo corredor e que foram repetidos e amplificados pelos outros chimpanzés enjaulados, que certamente não nos tinham visto, até que o corredor praticamente balançou com os ganidos, golpes e sacudir das barras. O diretor me afirmou que em tais situações não é só cuspe que costuma voar; e com nítidos sinais de pressa, nos retiramos.

Fui agudamente acometido da memória daqueles filmes americanos da década de 30 ou 40 passados em alguma vasta e desumanizada penitenciária estadual ou federal, na qual os prisioneiros golpeavam ruidosamente seus talheres contra as barras assim que aparecia o carcereiro tirânico. Esses chimpanzés são saudáveis e bem-alimentados. Se eles são "apenas" animais, se eles são feras que não têm capacidade de abstração, então minha comparação é uma tolice sentimental. Acontece que os chimpanzés têm capacidade de abstração. À semelhança de outros mamíferos, eles sentem emoções fortes. Certamente, não cometeram crimes. Não reivindico uma resposta, mas acho certamente válido levantar a questão: por que, exatamente, em todo o mundo civilizado, em praticamente todas as cidades grandes, os antropoides vivem em prisões?

Na medida do que sabemos, são possíveis eventuais cruzamentos viáveis entre seres humanos e chimpanzés[16]. A experiência natural deve ter sido tentada com muito pouca frequência, pelo menos nos últimos tempos. Caso essa prole venha um dia a ser produzida, qual será seu estado legal? Na minha opinião, as capacidades cognitivas dos chimpanzés nos forçam a levantar indagações quanto aos limites da comunidade dos seres aos quais cabem as considerações éticas especiais, e podem, espero, ajudar a ampliar nossas perspectivas éticas para outras espécies da Terra e para organismos extraterrestres, se é que existem.

É difícil imaginar o significado emocional, para os chimpanzés, do aprendizado de uma linguagem. Talvez a analogia mais próxima seja a descoberta da linguagem pelos seres humanos inteligentes portadores de profunda lesão do sistema sensorial Embora a profundidade da compreensão, da inteligência e da sensibilidade de Helen Keller, que não via, não ouvia e não falava, exceda enormemente a de qualquer chimpanzé, seu relato da descoberta da linguagem transmite um pouco da emoção que esse notável desenvolvimento nas linguagens primatas deve transmitir ao

16 Até muito pouco tempo atrás, pensava-se que o homem tivesse 48 cromossomos nas células somáticas comuns. Sabemos agora que o número correto são 46. Os chimpanzés aparentemente possuem 48 cromossomos, e neste caso um cruzamento viável de chimpanzé e ser humano seria raro de qualquer forma.

chimpanzé, particularmente num contexto em que a linguagem favoreça a sobrevivência ou traga imensos benefícios.

Um dia, a professora de Miss Keller preparou-se para levá-la a uma caminhada:

"Ela pegou meu chapéu e eu percebi que me exporia ao sol quente. Esse pensamento, se é que uma sensação não-verbalizável pode ser chamada de um pensamento, fez-me pular e saltar de alegria.

Percorremos o caminho até o poço, atraídas pela fragrância da madressilva que o cobria. Alguém estava puxando água e minha professora colocou minha mão sob o jorro. À medida que o fluxo gelado escorria em minha mão, ela soletrou na outra a palavra 'água', primeiro devagarzinho e depois mais depressa. Fiquei quieta; toda a minha atenção concentrava-se no movimento de seus dedos. De repente senti uma nebulosa consciência de algo como que esquecido — uma impressão de retorno do pensamento; e de alguma forma o mistério da linguagem me foi revelado. Soube então que Á-G-U-A significava a maravilhosa coisa fria que deslizava pela minha mão. Aquele mundo vivo despertou minha alma, lhe deu luz, esperança, alegria, libertou-a! Ainda existiam barreiras, é verdade, mas eram barreiras que com o tempo poderiam ser dissipadas.

Saí do poço ansiosa por aprender. Tudo tinha um nome, e cada nome dava origem a um novo pensamento. Ao voltarmos para casa, todo objeto que eu tocava parecia vibrar, cheio de vida. Isso se dava porque eu via tudo com a nova e estranha visão que se me apresentara."

Talvez o aspecto mais pungente desses três primorosos parágrafos seja a própria percepção de Helen Keller de que seu cérebro possuía uma capacidade latente para a linguagem, que precisava apenas ser-lhe apresentada. Essa ideia essencialmente platônica, como já vimos, é compatível com aquilo que se sabe, a partir de lesões cerebrais, a respeito da fisiologia do neocórtex; e também com as conclusões teóricas elaboradas por Noam Chomsky, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, com base em experiências linguísticas e laboratoriais comparativas do aprendizado. Nos últimos anos, vem se tornando evidente que os cérebros dos primatas não-humanos são preparados da mesma forma, embora provavelmente em escala menor, para a linguagem.

O significado, a longo prazo, do ensinamento da linguagem aos outros primatas dificilmente pode ser superestimado. Existe uma passagem arrebatadora no livro de Charles Darwin *A Descendência do Homem*: "A diferença mental entre o homem e os animais superiores, por maior que seja, certamente é de grau e não de qualidade... Se pudéssemos provar que determinados poderes mentais superiores, tais como a formação de conceitos gerais, a auto-consciência, etc., são absolutamente peculiares ao homem, o que parece extremamente duvidoso, não é improvável que essas qualidades sejam simplesmente os resultados incidentais de outras faculdades intelectuais altamente evoluídas; e estas, por sua vez, representam principalmente os resultados do uso continuado de uma linguagem perfeita".

Essa mesma opinião sobre os notáveis poderes da linguagem e da intercomunicação humana pode ser encontrada em um ponto bastante diferente, como a descrição, no Gênese, da Torre de Babel. Deus, em atitude estranhamente

defensiva para um ser onipotente, mostra-se preocupado com o fato de o homem pretender construir uma torre até o céu. (Sua atitude é semelhante à preocupação que exprime depois de Adão comer a maçã.) Para evitar que a espécie humana atinja o céu, pelo menos metaforicamente, Deus não destrói a torre, como, por exemplo, Sodoma foi destruída. Não. Em vez disso, ele diz: "**Eis que o povo é um, e todos têm a mesma linguagem. Isso é apenas o começo: agora não haverá restrição para tudo o que intentam fazer. Vinde, desçamos e confundamos ali sua linguagem, para que um não entenda a linguagem do outro**" (Gênese 11: 6-7).

O uso continuado de uma linguagem "perfeita"... Que espécie de cultura, que espécie de tradição oral estabeleceriam os chimpanzés após algumas centenas de milhares de anos de uso de uma complexa linguagem gestual? E se existisse tal contínua comunidade isolada de chimpanzés, como será que eles veriam a origem da linguagem? Seriam os Gardner e os pesquisadores do Centro de Primatas de Yerkes lembrados vagamente como lendários heróis populares ou deuses de outra espécie? Existiriam mitos, como os de Prometeu, Thoth ou Oannes, acerca de seres divinos que deram o dom da linguagem aos antropoides? De fato, a instrução de chimpanzés em linguagem gestual apresenta nitidamente a mesma emoção e sentido religioso do episódio (na verdade fictício) do filme e do livro *2001: Uma Odisseia no Espaço*, no qual um representante de uma civilização extraterrestre evoluída instrui de alguma forma nossos ancestrais hominídeos.

Talvez o aspecto mais marcante de toda esta matéria seja o de que existem primatas não-humanos tão próximos da linguagem, tão ansiosos pelo aprendizado, tão completamente competentes em seu uso e inventivos em sua aplicação, uma vez ensinada a linguagem... Isso, porém, suscita uma curiosa indagação: por que estão todos à margem? Por que não existem primatas não-humanos dotados de uma complexa linguagem gestual? Uma resposta possível, me parece, seria a de que os homens teriam exterminado sistematicamente todos os outros primatas que dessem mostras de inteligência. (Isso se aplica particularmente aos primatas não-humanos que habitavam as savanas; as florestas devem ter proporcionado alguma proteção aos chimpanzés e gorilas contra as depredações do homem.) Pode ser que tenha sido o homem o agente da seleção natural na supressão da competição intelectual. Acho que podemos ter feito recuar as fronteiras da inteligência e a capacidade linguística dos primatas não-humanos até que sua inteligência se tornou indiscernível. Ao ensinar a linguagem gestual aos chimpanzés, estamos começando uma retardatária tentativa de estabelecer correções.

VI Os contos do Éden sombrio

Nós, homens, somos muito velhos
Nossos sonhos são lendas
Contadas no Éden sombrio. . .

Walter de la Mare
All that's past

— Bem, pelo menos é um grande conforto — disse ela enquanto passava sob as árvores —, depois de estar tão quente, entrar no ... no ... no *quê*? — prosseguiu, bastante surpresa por não conseguir lembrar-se da palavra. — Quero dizer, entrar debaixo do ... debaixo do ... debaixo *disto*, você sabe! — E colocando a mão no tronco da árvore: — Como é mesmo que se chama? [...] E agora, quem sou eu? Vou me lembrar, se puder! Estou decidida a fazê-lo! — Mas estar decidida não a ajudou muito e tudo que ela pôde dizer, após quebrar muito a cabeça, foi: — L, eu *sei* que começa com L!

Lewis Carrol
Alice no País dos Espelhos

Não se coloque entre o dragão e sua presa.

William Shakespeare
Rei Lear

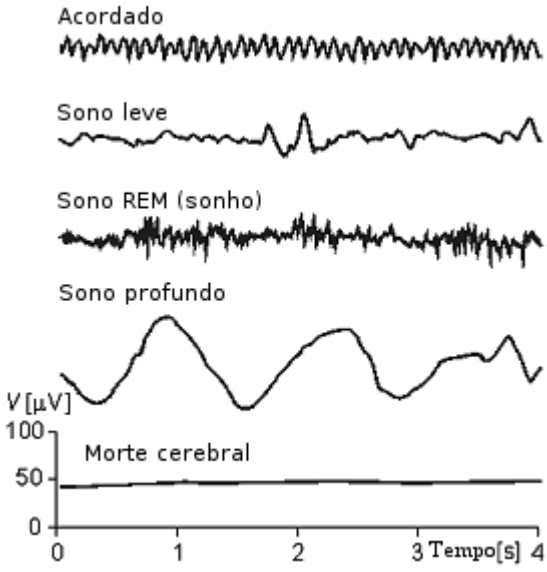
. . .A princípio
Insensíveis como feras, dei aos homens sentido, atribuí-lhes mente ...
No início, vendo, pareciam cegos, e ouvindo, não escutavam, mas como fantasmas se atropelavam
Em sonhos, a história perplexa de seus dias
Confundiam.

Ésquilo
Prometeu acorrentado

Prometeu atravessa uma crise de justa indignação. Ele concedeu a civilização a uma humanidade confusa e supersticiosa, e como castigo Zeus o acorrentou a uma rocha para que um abutre venha devorar-lhe o fígado. No trecho que se segue à citação acima, Prometeu descreve os principais dons, além do fogo, que ele outorgou à humanidade. São eles, pela ordem: a astronomia, a matemática, a escrita, a domesticação dos animais, o uso da roda, os navios, a medicina e a adivinhação através de sonhos e outros métodos. O dom final choca nossos ouvidos como algo estranho. Juntamente com o relato da expulsão do Éden no Gênese, Prometeu acorrentado parece ser um dos principais trabalhos da literatura ocidental que apresentam uma alegoria viável da evolução do homem — embora neste caso concentrando-se muito mais no "evolvedor" do que no "evolvido". "Prometeu" significa "previsão" em grego, aquela qualidade aparentemente relacionada com os lobos frontais do neocórtex; a previsão e a ansiedade encontram-se presentes no retrato da personagem de Ésquilo.

Qual a ligação existente entre os sonhos e a evolução do homem? Ésquilo talvez esteja dizendo que nossos ancestrais pré-humanos viveram suas vidas em um estado semelhante aos nossos sonhos; e que um dos principais benefícios do desenvolvimento da inteligência humana é nossa capacidade de compreender a verdadeira natureza e a importância dos sonhos.

Existem, ao que parece, três estados mentais principais nos seres humanos: vigília, sono e sonho. O eletrencefalograma, que detecta as ondas cerebrais, registra padrões bastante distintos de atividade elétrica no cérebro durante esses três estados[17]. As ondas cerebrais representam correntes e voltagens muito pequenas produzidas pelo circuito elétrico do cérebro. As potências desses sinais ondulatórios cerebrais são medidas em microvolts. As frequências típicas encontram-se entre 1 e mais ou menos 20 hertz (ou ciclos por segundo) – menos do que 60 ciclos por segundo, a frequência das correntes alternadas nas instalações elétricas.



Os padrões eletrencefalográficos característicos de um homem normal em vigília, no sono e durante o sonho.

Mas para que serve o sono? Não há dúvida de que, se permanecemos acordados durante muito tempo, o organismo produz substâncias neuroquímicas que literalmente nos forçam a dormir. Os animais com privação de sono geram tais moléculas em seu líquido cefalorraquidiano, e a injeção de líquido cefalorraquidiano dos animais privados de sono provoca sono em outros animais perfeitamente despertos. É mister, então, que exista uma razão muito poderosa para o sono.

A resposta convencional da fisiologia e da medicina popular é que o sono possui um efeito restaurador; é uma oportunidade para o corpo ordenar a esfera física e mental longe das necessidades do dia-a-dia. Mas as provas reais em favor desse ponto de vista, a não ser sua aceitação comum, parecem esparsas.

17 O eletrencefalograma (EEG) foi inventado pelo psicólogo alemão Hans Berger, cujo interesse fundamental no assunto parece ter sido a telepatia. E, de fato, pode ser usado para uma espécie de radiotelepatia; os seres humanos têm a capacidade de ligar e desligar determinadas ondas cerebrais — por exemplo, o ritmo alfa — à vontade, bastando para isso um pouco de treino. Com esse treino, um indivíduo ligado a um eletrencefalógrafo e a um transmissor de rádio poderia, em princípio, enviar mensagens bastante complexas em uma espécie de código Morse em onda alfa, somente pensando nelas de forma adequada; e é posstvel que esse método possa ter algum uso prático, tal como a comunicação com pacientes imobilizados, vítimas de graves derrames cerebrais. Por motivos históricos, o sono destituído de sonhos é eletrencefalograficamente caracterizado como “sono de onda lenta”, e o estado onírico como “sono paradoxal”.

Além disso, existem alguns aspectos capazes de trazer preocupação no que diz respeito à repressão. Por exemplo, qualquer animal é excepcionalmente vulnerável quando adormecido, mesmo considerando que os animais, em sua maioria, costumam dormir em ninhos, cavernas, buracos de árvores ou troncos, ou em locais recônditos ou camuflados. Mesmo assim, sua impotência durante o sono permanece grande. Nossa vulnerabilidade noturna é muito evidente; os gregos consideravam irmãos Morfeu e Tanatos, os deuses do sono e da morte.

A menos que exista alguma necessidade biológica excepcionalmente forte para o sono, a seleção natural teria favorecido a evolução dos animais que não dormem. Enquanto existem animais — a preguiça de dois dedos, o tatu, o gambá e o morcego — que, pelo menos em estado de torpor sazonal, dormem dezenove ou vinte horas por dia, existem outros — o musaranho comum e a toninha de Dall (*Phocoenoides dalli*) — que dormem muito pouco. Existem também seres humanos que necessitam apenas de uma a três horas de sono por noite. Costumam ter dois ou três empregos, aproveitar a vida noturna enquanto suas esposas sucumbem à exaustão, mas assim mesmo parecem levar uma vida alerta, plena e construtiva. A história familiar sugere que essas predisposições são hereditárias. Em um caso, tanto o homem quanto sua filha pequena eram acometidos dessa bênção ou maldição, o que muito consternava a esposa sonolenta, que acabou por pedir o divórcio em razão dessa insólita incompatibilidade. Ele obteve a custódia da filha. Esses exemplos sugerem que a hipótese recuperadora do sono, no mínimo, não representa tudo.

Contudo, o sono é muito antigo. Sob o aspecto eletrencefalográfico, nós o compartilhamos com todos os primatas e quase todos os outros mamíferos e aves: pode-se estender até os répteis. A epilepsia do lobo temporal e seu estado de comportamento automático inconsciente pode ser provocada em alguns indivíduos pela estimulação elétrica espontânea da amígdala, muito abaixo do lobo temporal, em frequência de alguns ciclos por segundo (alguns hertz). Crises convulsivas não muito diferentes do sono têm sido relatadas quando um paciente epiléptico está dirigindo um automóvel ao pôr ou ao nascer do sol ao longo de uma cerca de estacas pontiagudas entre ele e o sol: a uma determinada velocidade, as estacas interceptam o sol na exata velocidade crítica capaz de produzir uma oscilação na frequência ressonante para iniciar tais crises. O ritmo circadiano, o ciclo diário da função fisiológica, ocorre até mesmo em animais tão inferiores quanto os moluscos. Uma vez que um estado de certa forma semelhante aos sonhos pode ser provocado pela estimulação de outras regiões límbicas abaixo do lobo temporal, como descrevemos adiante, os centros que iniciam o sono e os sonhos não devem situar-se muito distantes nos recessos do cérebro.

Existem alguns indícios recentes de que os dois tipos de sono, com ou sem sonhos, dependem do estilo de vida do animal. Truett Allison e Domenic Ciccheti, da Universidade de Yale, descobriram que os predadores são estatisticamente muito mais propensos aos sonhos do que as presas, que por sua vez são mais propensas ao sono sem sonhos. Todos esses estudos foram realizados com mamíferos e se

aplicam apenas às diferenças entre as espécies, e não dentro delas. No sono com sonhos, o animal fica intensamente imobilizado e notavelmente impassível aos estímulos externos. O sono sem sonhos é muito mais superficial e já temos visto cães ou gatos apurando seus ouvidos a um ruído quando estão, aparentemente, em sono profundo. Também é comumente sustentado que quando os cães dormindo movem suas pernas em uma espécie de movimento de corrida, estão sonhando com a caça. O fato de o sono profundo com sonhos ser raro entre as presas hoje em dia parece claramente um produto da seleção natural. Ocorre que os organismos que hoje são presas podem ter tido ancestrais predadores, e vice-versa. Ademais, os predadores em geral são organismos com maior massa cerebral absoluta e maior relação entre a massa cerebral e a corporal do que suas presas. Faz sentido que hoje, quando o sono é altamente evoluído, os animais obtusos sejam menos frequentemente imobilizados pelo sono profundo do que os mais espertos. Mas por que haveriam eles de dormir profundamente? Por que teria evoluído tal estado de profunda imobilização?

Talvez uma pista viável para a função original do sono seja encontrada no fato de os golfinhos, baleias e outros mamíferos aquáticos aparentemente dormirem muito pouco. De um modo geral, não existe lugar para se esconder no oceano. Seria a função do sono, ao invés de aumentar a vulnerabilidade do animal, diminuí-la? Wilse Webb, da Universidade da Flórida, e Ray Meddis, da Universidade de Londres, sugeriram ser esse o caso. O estilo de sono de cada organismo é finamente adaptado à ecologia do animal. É concebível que animais estúpidos demais para ficarem quietos por iniciativa própria sejam, durante períodos de alto risco, imobilizados pelo braço implacável do sono. Esse ponto parece particularmente claro para os filhotes dos animais predadores; não apenas os filhotes de tigres são cobertos por uma coloração protetora soberbamente eficaz, como também dormem muito. Essa é uma noção interessante e provavelmente, pelo menos em parte, verdadeira. Mas não explica tudo. Por que é que os leões, que têm poucos inimigos naturais, dormem tanto? Essa indagação não representa uma objeção esmagadora, tendo em vista que os leões podem ter evoluído a partir de animais que não tinham a sua realeza. Da mesma forma, os gorilas adolescentes, que têm pouco a temer, mesmo assim constroem toda noite sua cama para dormir — talvez porque tenham evoluído a partir de predecessores mais vulneráveis. Ou, talvez, outrora os ancestrais dos leões e gorilas temessem predadores ainda mais violentos.

A hipótese da imobilização parece particularmente viável à luz da evolução dos mamíferos, que surgiram em uma época dominada por répteis sibilantes, estrondosos e inteiramente aterrorizantes. Mas quase todos os répteis têm sangue frio[18] e, à exceção dos que vivem nos trópicos, são forçados a adotar a imobilização

18 Robert Bakker, um paleontólogo da Universidade de Harvard, propõe que pelo menos alguns dinossauros tinham sangue consideravelmente quente; mesma assim, parece provável que eles não fossem tão insensíveis à variação diurna de temperatura quanto os mamíferos, e que esfriassem bastante à noite.

noturna. Os mamíferos têm sangue quente e são capazes de funcionar à noite. Os nichos ecológicos noturnos não-tropicais podem ter sido quase desocupados no Período Triásico, há uns 200 milhões de anos. De fato, Harry Jerison sugeriu que a evolução de mamíferos foi acompanhada do desenvolvimento de versões então extremamente requintadas (e agora comuns) de audição e olfato, sentidos para a percepção das distâncias e dos objetos à noite; e que o sistema límbico evoluiu a partir da necessidade de processar a rica sucessão de dados obtidos pelos sentidos recentemente elaborados. (Grande parte da informação visual processada nos répteis não é feita no cérebro, mas na retina; o aparelho de processamento óptico no neocórtex foi um desenvolvimento evolutivo mais tardio.)

Desenho de um Saurornithoides, pequeno dinossauro inteligente, apanhando mamíferos. São conhecidos espécimes do Canadá e da República Popular da Mongólia, no Cretáceo. (Natural History Museum, Londres)

Talvez fosse essencial para os mamíferos primitivos permanecerem imobilizados e escondidos durante as horas claras do dia, que eram governadas pelos répteis predadores. Estou configurando um panorama no final do Mesozoico, no qual os mamíferos dormem rigorosamente durante o dia e os répteis à noite. Mas, à noite, mesmo os protomamíferos carnívoros inferiores devem ter oferecido uma real ameaça aos répteis imobilizados pelo frio, e particularmente a seus ovos.

A julgar por seus volumes intracranianos (ver figura da pág. **25**), os dinossauros eram, em comparação com os mamíferos, notavelmente obtusos. Para citar alguns exemplos "bem conhecidos", o *Tyrannosaurus rex* tinha um volume cerebral de aproximadamente 200 cm^3; o *Brachiosaurus*, 150; o *Triceratops*, 70; o *Diplodocus*, 50; o *Stegosaurus*, 30 cm^3. Nenhum deles aproximou-se do chimpanzé em termos de massa cerebral absoluta; o *Stegosaurus*, que pesava 2 toneladas, era, com toda a certeza, infinitamente mais estúpido que o coelho. Quando os grandes pesos corporais dos dinossauros são levados em consideração, a pequenez de seus cérebros torna-se ainda mais evidente. O *Tyrannosaurus* pesava 8 toneladas, o *Diplodocus*, 12 e o *Brachiosaurus*, 87. A relação entre peso cerebral e corporal do *Brachiosaurus* era 10 000 vezes menor do que no homem. Da mesma forma que os tubarões são os peixes com os maiores cérebros em relação ao peso corporal, os dinossauros carnívoros, como o *Tyrannosaurus*, eram relativamente bem dotados de cérebro em relação aos herbívoros, como o *Diplodocus* e o *Brachiosaurus*. Estou certo de que o *Tyrannosaurus* era uma terrível e eficiente máquina assassina. Mas, apesar de seu aspecto aterrorizante, os dinossauros parecem vulneráveis aos dedicados e inteligentes adversários — tais como os mamíferos primitivos.

Nossa cena mesozoica possui um toque curiosamente vampiresco, com os répteis carnívoros caçando os espertos mamíferos adormecidos durante o dia, e os mamíferos carnívoros caçando os estúpidos répteis imóveis durante a noite. Embora os répteis enterrassem seus ovos, é improvável que eles protegessem eficientemente os ovos ou filhotes. Existem muito poucas menções de tal comportamento, mesmo nos répteis contemporâneos, e é difícil imaginar o *Tyrannosaurus rex* chocando uma ninhada de ovos. Por esses motivos, os mamíferos devem ter vencido a guerra primordial dos vampiros; pelo menos alguns paleontólogos acreditam que a extinção dos dinossauros foi acelerada através da predação noturna dos ovos reptilianos pelos mamíferos primitivos. Dois ovos de galinha[19] no café da manhã, isso é tudo — pelo menos aparentemente — que deve ter sobrado dessa arcaica dieta dos mamíferos.

Os dinossauros mais inteligentes de acordo com o critério da relação entre massa cerebral e corporal são os *Saurornithoides*, cujos cérebros pesavam em geral 50 gr para uma massa corporal de mais ou menos 50 kg, o que os situa próximo ao avestruz da figura da página **27**. De fato, eles se assemelham ao avestruz. Pode ser muito elucidativo examinar moldes internos fósseis de suas caixas cranianas. Provavelmente caçavam pequenos animais para comer e usavam os quatro dedos de seus apêndices semelhantes a mãos para muitos propósitos diferentes. Constituem animais interessantes sobre os quais especular. Se todos os dinossauros não tivessem sido extintos misteriosamente há uns 65 milhões de anos, teria o *Saurornithoides* continuado a evoluir para formas cada vez mais inteligentes? Teriam eles aprendido a caçar grandes mamíferos em grupo e portanto, talvez, evitado a grande proliferação de mamíferos que se seguiu ao final da Era Mesozoica? Se não tivesse ocorrido a extinção dos dinossauros, seriam hoje as formas de vida dominadoras na

19 De fato, as aves são certamente os principais descendentes vivos dos dinossauros.

Terra os descendentes dos *Saurornithoides*, escrevendo e lendo livros, especulando sobre o que teria acontecido se os mamíferos tivessem prevalecido? Pensariam as formas dominantes que a aritmética de base 8 era bastante natural e a base 10, um "fricote" ensinado apenas na "matemática moderna"?

Muito daquilo que consideramos importante acerca das últimas dezenas de milhões de anos da história da Terra gira em torno da extinção dos dinossauros. Existem literalmente dúzias de hipóteses tentando explicar esse fato, que aparentemente se deu com notável rapidez e de modo completo, tanto nas formas terrestres quanto aquáticas. Todas as explicações propostas parecem apenas parcialmente satisfatórias. Variam da transformação climática radical até a predação pelos mamíferos, sem falar na suposta extinção de uma planta com aparentes propriedades laxativas, caso em que os dinossauros teriam morrido de prisão de ventre.

Reconstrução de uma paisagem cretácea numa região pantanosa no Canadá. Na maioria, os dinossauros mostrados são bípedes e herbívoros. De acordo com nossos conhecimentos, todas essas formas foram extintas pouco depois. (Charles R. Knight, mural em The Field Museum of Natural History, Chicago)

Uma das hipóteses mais interessantes e promissoras, sugerida pela primeira vez por I. S. Shklovskii, do Instituto de Pesquisa Cósmica da Academia de Ciências de Moscou, é a de que os dinossauros morreram por causa de um evento de supernova nas proximidades — a explosão de uma estrela moribunda a algumas dezenas de anos-luz de distância, que provocou um imenso fluxo de partículas dotadas de alta carga energética. Esse fluxo penetrou em nossa atmosfera, alterou suas propriedades e, talvez, pela destruição do ozônio atmosférico, deixou passar quantidades letais de radiação solar ultravioleta. Os animais noctívagos (como os mamíferos da época) e os do fundo do mar (como os peixes) poderiam ter sobrevivido a essa intensidade maior de raios ultravioleta; mas os animais de hábitos diurnos que habitavam a terra ou a superfície das águas teriam sido seletivamente destruídos.[20] Tal desastre seria apropriadamente nomeado – a própria palavra significa "má estrela" [dis + astro].

20 As teorias mais aceitas nos anos 2000 são a queda do meteoro em Chicxulub e os traps Deccan (vulcões).

Se essa sequência de acontecimentos estiver correta, o principal rumo da evolução biológica na Terra nos últimos 65 milhões de anos, e até a existência dos seres humanos, pode ser rastreada até a morte de um sol distante. Talvez outros planetas girassem em torno daquela estrela; talvez um daqueles planetas gozasse de uma biologia de caprichosa evolução através de bilhões de anos. A explosão da supernova teria certamente extinguido todas as formas de vida naquele planeta e provavelmente até lançado sua atmosfera no espaço. Será que devemos nossa existência a uma fantástica catástrofe estelar que destruiu biosferas e mundos?

Após a extinção dos dinossauros, os mamíferos mudaram-se para os nichos ecológicos de hábitos diurnos. O medo do escuro manifestado pelos primatas deve constituir aquisição relativamente recente. Washburn notificou que filhotes de babuínos e outros primatas jovens aparentemente só nascem com três medos inatos — de cair, de cobras e do escuro —, que correspondem respectivamente aos perigos representados pela gravitação newtoniana aos que se abrigam nas árvores, pelos nossos antigos inimigos répteis e pelos mamíferos predadores noturnos que devem ter sido especialmente aterrorizantes para os primatas visualmente orientados.

Oviraptor em seu ninho. Durante algum tempo acreditou-se que fosse um ninho de protoceratops sendo atacado por um oviraptor, desmentido nos anos 1990.
(American Museum of Natural History)
[substitui 2 imagens de ovos e bebês Protoceratops; Liverpool Museums]

Se a hipótese de uma guerra vampiresca é verdadeira — e é no máximo uma hipótese provável —, a função do sono está profundamente inserida no cérebro dos mamíferos; desde as épocas mais primitivas dos mamíferos, o sono desempenhava um papel fundamental na sobrevivência. Desde que, para os mamíferos primitivos, as noites sem sono teriam sido mais perigosas para a sobrevivência do que as noites sem atividade sexual, o sono deve ter uma força mais poderosa do que o sexo — o que, pelo menos na maioria dos casos, parece corresponder à verdade. Contudo, finalmente, os mamíferos evoluíram a um ponto tal em que o sono podia ser modificado pelas circunstâncias já diferentes. Com a extinção dos dinossauros, a luz do dia subitamente se tornou um ambiente propício aos mamíferos. Não era mais compulsória a imobilização durante o dia e uma ampla variedade de padrões de sono se desenvolveu lentamente, inclusive a correlação contemporânea dos predadores mamíferos com extensos sonhos e das presas mamíferas com um sono mais vigilante, destituído de sonhos. Talvez as pessoas que se satisfazem com apenas algumas horas de sono à noite sejam os precursores de uma nova adaptação humana que aproveitará integralmente todas as horas do dia. Eu, de minha parte, confesso abertamente que invejo tal adaptação.

Essas conjecturas sobre as origens dos mamíferos constituem uma espécie de mito científico: podem conter algum germe de verdade, mas têm pouca probabilidade de explicar tudo. Coincidência ou não, os mitos científicos têm relação com mitos mais antigos. É absolutamente possível que sejamos capazes de inventar mitos científicos somente por termos sido anteriormente expostos a mitos de outro tipo. Entretanto, não posso resistir a estabelecer a ligação entre este relato da origem dos mamíferos e outro curioso aspecto do mito da expulsão do Paraíso no Gênese, pois é um réptil, naturalmente, que oferece o fruto da ciência do bem e do mal — as funções neocorticais abstratas e morais — para Adão e Eva.

Varanus komodensis, o dragão-de-komodo, ilha de Komodo, Indonésia.

Restam ainda alguns répteis grandes na Terra, sendo o mais notável o dragão-de-komodo da Indonésia — tem sangue frio, não é muito inteligente, mas trata-se de um predador que demonstra importante firmeza de propósito. Com enorme paciência, ele tocaia uma corça ou um javali adormecido, e subitamente golpeia a presa com a pata traseira, segurando-a até que ela perca todo o sangue e morra. As presas são localizadas através do cheiro. Um dragão caçador arrasta-se e meneia o corpo com a cabeça baixa e sua língua bifurcada move-se

rapidamente pelo chão à procura de vestígios químicos. Os adultos maiores pesam aproximadamente 135 quilos, têm 3 metros de comprimento e vivem talvez mais de um século. A fim de proteger seus ovos, o dragão cava trincheiras com profundidade de 2 a 9 metros – provavelmente uma defesa contra os mamíferos devoradores de ovos (e contra eles mesmos — os adultos eventualmente ficam à tocaia de um ninho, esperando pela eclosão que lhes proporcionará pequeno acepipe para o almoço). Outra evidente adaptação aos predadores é o fato de o filhote do dragão viver em árvores.

A notável elaboração dessa adaptação mostra claramente que os dragões estão em apuros no planeta Terra. O dragão-de-komodo vive de forma selvagem somente nas ilhas Sonda Menores[21]. Só restam cerca de 2 000 espécimes. A obscuridade do local sugere imediatamente que os dragões estão próximos da extinção em virtude da ação predatória dos mamíferos, principalmente do homem, conclusão tirada da história nos últimos dois séculos. Todos os dragões com adaptações menos extremas ou habitats menos remotos estão mortos. Eu até me pergunto se a separação sistemática de massa cerebral para uma determinada massa corporal entre os mamíferos e os répteis (ver gráfico da pág. **25**) não seria o resultado de uma extinção sistemática dos dragões inteligentes pelos predadores mamíferos. De qualquer forma, é muito provável que a população de grandes répteis venha diminuindo continuamente desde o final da era Mesozoica, e que há mil ou 2 000 anos existisse um número maior deles do que existe hoje.

A penetração dos mitos de dragões nas lendas populares provavelmente não é casual[22]. A implacável hostilidade mútua entre o homem e o dragão, como exemplifica o mito de São jorge, é mais forte no Oriente. (No capítulo 3 do Gênese, Deus ordena uma inimizade eterna entre os répteis e os seres humanos.) Não corresponde, contudo, a uma anomalia ocidental. É um fenômeno de ocorrência mundial. Seria apenas uma casualidade o fato de os sons humanos que ordenam o silêncio ou atraem a atenção parecerem estranhamente imitativos do silvo dos répteis? Seria possível que os dragões representassem um problema para nossos ancestrais proto-humanos de alguns milhões de anos atrás, e o terror que provocaram e as mortes que causaram terem ajudado a promover a evolução da inteligência humana? Ou será que a metáfora da serpente se refere ao uso do componente reptiliano agressivo e ritualístico de nosso cérebro na evolução do neocórtex? Com uma exceção, o relato da tentação por um réptil no Éden constitui o único exemplo da Bíblia onde o homem compreende a linguagem dos animais. Quando tememos os dragões, estaríamos temendo uma parte de nós mesmos? De uma forma ou de outra, havia dragões no Éden.

---

21 Foi nas ilhas Sonda Maiores — mais especificamente em Java — que o primeiro espécime de *Homo erectus*, com um volume intracraniano de quase 1 000 cm^3, foi encontrado por E. Dubois, em 1891.

22 Curiosamenre, o primeiro crânio representativo do homem de Pequim — o *Homo erectus*, cujos restos mortais se associam claramente ao uso do fogo — foi descoberto por Wengchung Pei no final de 1929, na Provincia de Sinkiang, na China, em um local chamado Montanha dos Dragões.

São Jorge matando o dragão, de Donatello. Chiesa di Orsanmichele, Florença.

A tentação por uma serpente-homem e a expulsão do Éden.
Michelangelo, teto da Capela Sistina

O fóssil mais recente de dinossauro data de mais ou menos 60 milhões de anos atrás. A família do homem (mas não o gênero *Homo*) tem algumas dezenas de milhões de anos. Poderiam ter existido criaturas humanas que realmente se defrontaram com o *Tyrannosaurus rex*? Poderiam ter existido dinossauros que escaparam à extinção no final do Período Cretáceo? Seriam os sonhos vívidos e os medos comuns de "monstros", que as crianças manifestam logo que são capazes de falar, vestígios evolutivos de respostas bastante adaptativas — como ocorre com os babuínos — aos dragões e corujas[23]?

Para que funções servem os sonhos hoje? Um ponto de vista, publicado em renomado jornal científico, sustenta que a função dos sonhos é a de nos acordar um pouco, de vez em quando, para verificar se há alguém querendo devorar-nos. Mas acontece que os sonhos ocupam uma parte relativamente tão pequena do sono normal que essa explicação não parece muito convincente. Além disso, como já vimos, os indícios apontam exatamente para o lado oposto — hoje são os predadores mamíferos, e não as presas mamíferas, que caracteristicamente apresentam sonhos ao dormir. Muito mais plausível é a explicação, baseada em computador, de que os sonhos são um extravasamento do processamento inconsciente da experiência do dia, a partir da decisão do cérebro de quanto dos acontecimentos diários temporariamente arquivados em um tipo de acumulador (*buffer*) serão conduzidos à memória de longo prazo. Os acontecimentos de ontem frequentemente aparecem nos meus sonhos; os de dois ou três dias atrás, muito mais raramente. Entretanto, o modelo de descarga de *buffer* não parece capaz de explicar tudo, uma vez que não explica os disfarces tão característicos da linguagem simbólica dos sonhos, um aspecto destacado pela primeira vez por Freud. Tampouco explica as poderosas emoções ou sentimentos do sonho; eu acredito que muitas pessoas tenham sentido infinitamente mais medo de algo com que sonharam do que de qualquer outra coisa que tenham experimentado em estado de vigília.

As funções de descarga de *buffer* e de armazenamento da memória dos sonhos apresentam algumas implicações sociais interessantes. O psiquiatra americano Ernest Hartmann, da Universidade Tufts, proporcionou indícios anedóticos, mas razoavelmente persuasivos, de que as pessoas ligadas a atividades intelectuais durante o dia, principalmente atividades intelectuais estranhas, necessitam de mais horas de sono à noite, enquanto, de modo geral, aquelas envolvidas em tarefas repetitivas e intelectualmente pouco desafiadoras podem passar com muito menos sono. Entretanto, em parte por motivos de conveniência organizacional, as sociedades modernas são estruturadas como se todos os seres humanos tivessem as mesmas necessidades de sono; e em muitas partes do mundo existe uma impressão de retidão moral no fato de se acordar cedo. A quantidade de sono

23 Depois de ter escrito esse trecho, descobri que Darwin expressou um pensamento semelhante: "Não devemos suspeitar que os temores vagos porém muito reais das crianças, que quase não dependem da experiência, sejam efeitos herdados de períodos de perigos reais e superstições abjetas no decorrer dos passados tempos selvagens? É bastante coerente, com o que sabemos a respeito da transmissão de caracteres anteriormente bem desenvolvidos, que eles devam aparecer em fase precoce da vida, e depois desaparecer" — como as fendas branquiais na embriologia humana.

exigida para a descarga de *buffer* dependeria então de quanto teríamos pensado e experimentado desde o último período de sono. (Não existe indício de que a causalidade ande para trás: as pessoas drogadas com fenobarbital não apresentam, durante os períodos intersticiais de vigília, feitos intelectuais incomuns.) Quanto a isso, seria interessante examinar indivíduos com reduzidas necessidades de sono para determinar se a fração de tempo que gastam sonhando é maior do que aquela dos indivíduos de sono normal, e determinar se essa quantidade de tempo de sono aumenta com a qualidade de suas experiências de aprendizado no estado de vigília.

Michel Jouvet, um neurologista francês da Universidade de Lyon, descobriu que o sono de sonhos é desencadeado na ponte, que, embora se localize no rombencéfalo, representa um desenvolvimento evolutivo tardio e essencialmente mamífero. Por outro lado, Penfield descobriu que a estimulação elétrica profunda do lobo temporal e abaixo deste, no neocórtex e no complexo límbico, é capaz de produzir um estado de vigília nos epilépticos muito semelhante ao dos sonhos destituídos de seus aspectos simbólicos e fantasiosos. Também pode provocar o fenômeno do *déjà vu*. Grande parte do conteúdo afetivo dos sonhos, inclusive o medo, também pode ser provocada por tal estimulação elétrica.

Uma vez tive um sonho que vai me atormentar para sempre. Sonhei que estava folheando casualmente um grosso livro de história. Percebia, pelas ilustrações, que o tempo passava lentamente, da maneira habitual nos livros desse tipo, através dos séculos — os tempos clássicos, a Idade Média, o Renascimento e assim por diante, gradualmente atingindo os tempos modernos. Mas então houve a Segunda Guerra Mundial e faltavam ainda duzentas páginas para o fim do livro. Com avultada excitação, ocupei-me do trabalho até ter a certeza de que tinha ultrapassado meu próprio tempo. Era um livro de história que incluía o futuro — seria como virar a página de 31 de dezembro do Calendário Cósmico e encontrar o 1º de janeiro em todos os seus pormenores. Ofegante, tentei literalmente ler o futuro. Mas era impossível. Eu era capaz de distinguir as palavras isoladas. Podia até discernir as cerifas nos tipos das letras. Mas não era capaz de juntar as letras para formar as palavras, ou as palavras em frases. Eu estava aléxico.

Talvez isso seja simplesmente uma metáfora da imprevisibilidade do futuro. Mas minha invariável experiência nos sonhos é de que sou incapaz de ler. Eu percebo, por exemplo, um sinal de PARE por sua cor e por sua forma octogonal, mas não posso ler a palavra PARE, embora saiba que ela está lá. Tenho a impressão de compreender o significado de uma página impressa, mas não posso lê-la palavra por palavra ou frase por frase. Não posso realizar com certeza nem mesmo operações aritméticas simples em estado onírico. Faço uma série de confusões verbais sem aparente significado simbólico, como misturar Schumann e Schubert. Sou um pouco afásico e inteiramente aléxico. Nem todo mundo que conheço tem a mesma dificuldade cognitiva em sonho, mas as pessoas costumam ter algum tipo de dificuldade. (A propósito, as pessoas que já nascem cegas têm sonhos auditivos e não visuais.) O neocórtex não é completamente desligado no estado onírico, mas é certo que parece sofrer importantes disfunções.

O aparente fato de os mamíferos e aves sonharem, enquanto seus ancestrais comuns, os répteis, não o fazem, naturalmente é digno de nota. Importantes linhas evolutivas além dos répteis têm apresentado sonhos e talvez os requeiram. O sono das aves eletricamente revelado é episódico e breve. Se elas sonham, isso ocorre durante apenas um segundo de cada vez. Mas as aves, em um sentido evolutivo, estão muito mais próximas dos répteis do que os mamíferos. Se fossem apenas os mamíferos, o argumento seria mais frágil; mas quando os dois principais grupos taxonômicos que se desenvolveram a partir dos répteis são compelidos a sonhar, devemos encarar a coincidência com seriedade. Por que um animal que descendeu do réptil tem de sonhar, enquanto os outros animais não têm? Seria porque o cérebro reptiliano continua presente e funcionando?

É extremamente raro, no estado onírico, nos darmos conta de que "isto é apenas um sonho". De uma maneira geral, nós revestimos o conteúdo do sonho com a realidade. Não existem leis de coerência interna às quais os sonhos tenham de obedecer obrigatoriamente. O sonho é um mundo de magia e ritual, paixão e fúria, mas muito raramente de ceticismo e razão. Na metáfora do cérebro trino, os sonhos são em parte função do complexo-R e do córtex límbico, mas não da parte racional do neocórtex.

As experiências sugerem que, à medida que a noite vai passando, nossos sonhos passam a tratar cada vez mais de assuntos do nosso passado, atingindo até a meninice e a primeira infância. Ao mesmo tempo, o processo primário e o conteúdo emocional do sonho também aumentam. Somos muito mais propensos a sonhar com as paixões do berço imediatamente antes de acordar do que logo após adormecer. É como se a integração da experiência do dia em nossa memória, o ato de forjar novas ligações neurais, constituísse uma tarefa mais fácil ou mais premente. À medida que a noite passa e essa função é satisfeita, surgem os sonhos de conteúdo mais afetivo, os assuntos mais bizarros, os medos e desejos e outras emoções intensas do material onírico. Tarde da noite, quando a quietude é total e os sonhos obrigatórios já foram sonhados, as gazelas e os dragões começam a se mover.

Um dos instrumentos mais importantes para o estudo do estado onírico foi concebido por William Dement, um psiquiatra da Universidade de Stanford, que tem o máximo de sanidade mental possível, mas um nome excessivamente curioso para um homem de sua profissão. O estado onírico é acompanhado de um movimento ocular rápido (MOR), capaz de ser detectado por eletrodos levemente afixados às pálpebras durante o sono, e por um padrão peculiar de ondas no EEG. Dement descobriu que todos nós sonhamos muitas vezes por noite. Ao ser acordado, no meio do sono com MOR, um indivíduo habitualmente se lembrará do seu sonho. Descobriu-se, através dos critérios do MOR e do EEG, que mesmo as pessoas que declaram nunca ter sonhos os têm da mesma forma que as outras; e, quando despertadas na hora certa, admitem com surpresa que sonharam. O cérebro humano encontra-se em estado fisiológico peculiar durante o sonho, e nós sonhamos com bastante frequência. Embora talvez 20 por cento dos indivíduos

acordados durante o sono com MOR não se lembrem de seus sonhos, e uns 10 por cento dos acordados durante o sono sem MOR relatem sonhos, identificaremos, por conveniência, o MOR e os padrões eletrencefalográficos correspondentes com o estado onírico.

Existem alguns indícios de que o sonho é necessário. Quando seres humanos ou outros mamíferos são privados do sono com MOR (acordando-se assim que surgem os padrões característicos do MOR e do EEG), o número de inícios de sonho por noite se eleva e, nos casos graves, ocorrem alucinações durante o dia — quer dizer, sonhos acordados. Já afirmei que o MOR e os padrões eletrencefalográficos dos sonhos são curtos nas aves e ausentes nos répteis. Os sonhos parecem representar primariamente uma função dos mamíferos. E, o que é mais importante, os sonhos são mais vívidos nos seres humanos no período pós-natal imediato. Aristóteles afirmou quase categoricamente que as crianças pequenas não sonham. Pelo contrário, descobrimos que elas podem estar sonhando quase o tempo todo. Os recém-nascidos prematuros despendem mais de metade das horas de sono no estado onírico de MOR. Nas crianças nascidas com algumas semanas de antecipação, o período de sonho representa três quartos ou mais do tempo total de sono. Anteriormente, em sua vida intrauterina, o feto podia passar o tempo todo sonhando. (Na realidade, os gatos recém-nascidos passam todo o tempo de sono com MOR.) A recapitulação sugeriria então que os sonhos representam uma função evolutiva precoce e fundamental dos mamíferos.

Existe ainda outra ligação entre a primeira infância e os sonhos: ambos são seguidos de amnésia. Quando saímos de qualquer um dos dois estados, temos muita dificuldade de lembrar o que experimentamos. Em ambos os casos, eu diria, o hemisfério esquerdo do neocórtex, responsável pela memória analítica, funciona de modo ineficaz. Uma explicação alternativa é a de que tanto nos sonhos quanto na tenra idade experimentamos uma espécie de amnésia traumática — as experiências são dolorosas demais para serem lembradas. Mas muitos sonhos que esquecemos são muito agradáveis, e é difícil acreditar que a primeira infância seja assim tão desagradável. Atente-se também para o fato de que muitas crianças parecem capazes de lembrar-se de experiências extremamente longínquas. A recordação de acontecimentos ocorridos no final do primeiro ano de vida não é extremamente rara, e existem exemplos possíveis de lembranças ainda mais remotas. Com três anos de idade perguntaram a meu filho Nicholas qual o acontecimento mais antigo que ele podia lembrar e ele respondeu sussurrando, com o olhar a meia distância: **"Era tudo vermelho e eu sentia muito frio".** Ele nascera de parto cesáreo. Deve ser muito improvável, mas eu me pergunto se seria possível ser essa a verdadeira recordação do nascimento. De qualquer forma, acho muito mais provável que a amnésia da infância e dos sonhos decorra do fato de que, nesses estados, nossas vidas mentais são determinadas quase que exclusivamente pelo complexo-R, pelo sistema límbico e pelo hemisfério cerebral direito. Nos primórdios da infância, o neocórtex é subdesenvolvido; na amnésia, encontra-se prejudicado.

Existe uma estreita correlação entre a ereção do pênis ou do clitóris e o sono em fase de MOR, mesmo quando o conteúdo manifesto do sonho não apresenta quaisquer aspectos sexuais evidentes. Nos primatas, essas ereções estão ligadas ao sexo (claro!), à agressão e à manutenção da hierarquia social. Acho que, quando dormimos, uma parte de nós empenha-se em atividades bastante semelhantes às do macaco-de-cheiro que observei no laboratório de MacLean. O complexo-R funciona nos sonhos dos seres humanos; os dragões podem ser ouvidos silvando ou bramindo, e os dinossauros ainda enchem os ares com seus rugidos.

Um excelente teste do mérito das ideias científicas é sua comprovação subsequente. A teoria é formada sobre indícios fragmentários, depois é realizada uma experiência, cujo resultado o proponente da teoria não poderia saber. Caso a experiência confirme a ideia original, esta é habitualmente tomada como grande apoio para a teoria. Freud sustentava que a grande maioria, se não toda a "energia psíquica" de nossas emoções e do material onírico oriundos do processo primário, tem origem sexual. O papel absolutamente essencial do interesse sexual em proporcionar a perpetuação da espécie faz com que essa ideia não pareça boba nem depravada, como era encarada pelos contemporâneos vitorianos de Freud. Carl Gustav Jung, por exemplo, sustentava que Freud exagerara intensamente na importância primordial do sexo nas questões do inconsciente. Mas agora, três quartos de século depois, as experiências no laboratório de Dement e outros psicólogos parecem apoiar Freud. Acho que seria necessário um puritanismo muito dedicado para negar alguma ligação entre a ereção do pênis ou do clitóris e o sexo. Aparentemente, segue-se que o sexo e os sonhos não são casualmente inter-relacionados, ao contrário disso, possuem laços profundos e fundamentais — embora os sonhos certamente participem do material ritualístico, agressivo e hierárquico do século XIX na sociedade vienense, muitos dos vislumbres de Freud parecem duradouros e corajosos, assim como válidos.

Foram realizados estudos estatísticos sobre os tipos mais comuns de sonhos — estudos que, pelo menos até certo ponto, esclarecem a natureza dos sonhos. Em uma pesquisa entre estudantes universitários, eram os seguintes os tipos mais frequentes de sonhos, pela ordem: (1) queda; (2) estar sendo perseguido ou atacado; (3) tentar repetidamente executar uma tarefa, sem sucesso; (4) diversas experiências acadêmicas de aprendizado; e (5) diversas experiências sexuais. O número (4) parece relacionar-se particularmente ao grupo tomado como amostra. Os outros, encontrados realmente nas vidas dos estudantes, provavelmente têm explicação geral, mesmo no caso de pessoas que não estudam.

O medo de cair parece estar claramente ligado a nossas origens arbóreas e é um medo que aparentemente compartilhamos com outros primatas. Se você vive numa árvore, a maneira mais fácil de morrer é cair. As outras três categorias de sonhos mais comuns são particularmente interessantes porque correspondem a funções agressivas, hierárquicas, ritualísticas e sexuais — do domínio do complexo-R. Outra estatística interessante mostra que quase metade das pessoas inquiridas relatou

sonhos com cobras, o único animal que conseguiu, sozinho, compor uma categoria, dentre vinte tipos mais comuns de sonhos. É naturalmente possível que muitos dos sonhos com cobras tenham uma interpretação freudiana direta. Contudo, dois terços dos indivíduos pesquisados relataram explicitamente sonhos sexuais. Considerando que, segundo Washburn, os filhotes de primatas demonstram um medo inato das cobras, é fácil imaginar que o mundo dos sonhos não aponta tanto direta quanto indiretamente para a arcaica hostilidade entre répteis e mamíferos.

Existe uma hipótese que me parece compatível com todos os fatos precedentes — a evolução do sistema límbico implicou uma maneira radicalmente nova de encarar o mundo. A sobrevivência dos mamíferos primitivos dependeu da inteligência, da discrição durante o dia e da dedicação à cria. O mundo visto pelo complexo-R era bastante diferente. Em virtude da natureza aditiva da evolução cerebral, as funções do complexo-R podiam ser utilizadas ou parcialmente desviadas, mas não ignoradas. Por conseguinte, desenvolveu-se um centro inibidor, abaixo daquilo que corresponde ao lobo temporal no homem, para desligar parte do funcionamento do cérebro reptiliano; e um centro de ativação evoluiu na ponte para ativar o complexo-R, porém de forma inofensiva, durante o sono. É claro que esse ponto de vista tem alguns pontos notáveis de semelhança com o quadro pintado por Freud da repressão do id pelo superego (ou do inconsciente pelo consciente), e as expressões do id manifestam-se mais claramente através de lapsos, associações livres, sonhos e congêneres — ou seja, durante os interstícios da repressão do superego.

Com o enorme desenvolvimento do neocórtex nos mamíferos superiores e primatas, criou-se certa participação neocortical no estado onírico — a linguagem simbólica ainda é, afinal de contas, uma linguagem. (Isso se relaciona com as diferentes funções dos dois hemisférios do neocórtex, descritas no capítulo seguinte.) Mas a linguagem figurada dos sonhos continha importantes elementos sexuais, agressivos, hierárquicos e ritualísticos. O fantástico material do mundo dos sonhos pode dever-se à quase ausência de estimulação sensorial durante o sono. Há muito pouca comprovação da realidade no estado onírico. O predomínio de sonhos nas crianças de tenra idade, de acordo com este ponto de vista, ocorreria porque na infância a parte analítica do neocórtex quase não funciona. A ausência de sonhos nos répteis decorreria da falta de repressão do estado onírico nesses animais; segundo a descrição de Ésquilo, eles "sonham" acordados. Acredito que essa ideia possa explicar a estranheza — quer dizer, as diferenças de nossa consciência verbal em vigília — do estado onírico; sua ocorrência nos mamíferos e na fase neonatal dos seres humanos; sua fisiologia; e sua penetração no homem.

Descendemos de répteis e de mamíferos. Na repressão diurna do complexo-R e na mobilização noturna dos dragões dos sonhos, cada um de nós pode estar reconstituindo a milenar guerra entre os répteis e os mamíferos. Apenas foram invertidas as horas da caça vampiresca.

Os seres humanos revelam o comportamento reptiliano tal como ele é. Se soltássemos inteiramente as rédeas dos aspectos reptilianos de nossa natureza, teríamos certamente um baixo potencial de sobrevivência. Em virtude de o complexo-R achar-se tão intimamente entretecido na estrutura do cérebro, suas funções não podem ser inteiramente evitadas. Talvez o estado onírico permita, em *nossa* fantasia e em *sua* realidade, que o complexo-R funcione regularmente, como se ainda regesse nossa natureza.

Se isso é verdadeiro, imagino, seguindo os passos de Ésquilo, que o estado de vigília dos outros mamíferos seja muito semelhante ao estado onírico dos seres humanos — no qual podemos reconhecer sinais, tais como a sensação de água correndo e o cheiro de madressilva, mas que possui um repertório extremamente limitado de *símbolos* tais como palavras; ali encontramos imagens sensitivas e emocionais vívidas, assim como compreensão intuitiva atuante, mas muito pouca análise racional; nesse estado, somos incapazes de realizar tarefas que exijam concentração prolongada; ali experimentamos curtos períodos de atenção e frequentemente distrações além de — o que é mais importante — um senso muito aguçado de individualidade ou do próprio eu, que desencadeia um penetrante fatalismo, um senso do imprevisível impacto de acontecimentos incontroláveis. Se foi daí que viemos, já fomos muito longe.

VII Os amantes e os loucos

> Os amantes e os loucos têm mentes tão febris
> Tantas fantasias tão vívidas que compreendem
> Mais do que a razão fria jamais compreenderá.
> O lunático, o amante e o poeta
> Estão todos repletos de imaginação. . .
>
> William Shakespeare
> *Sonho de uma noite de verão*

> Os meros poetas são tão tolos quanto os meros bêbados, que vivem em meio a um contínuo nevoeiro, sem ver nem julgar coisa alguma claramente. Um homem deve ser versado em várias ciências e possuir uma cabeça razoável, filosófica e até certo ponto matemática, para ser um completo e excelente poeta.
>
> John Dryden
> *Notas e observações sobre a imperatriz do Marrocos* 1674

Os cães de caça possuem uma inusitada capacidade de seguir trilhas utilizando o olfato. Depois de lhes serem apresentadas as "pistas" — um retalho de roupa pertencente à pessoa em questão, que pode ser uma criança perdida ou um réu fugitivo —, saem latindo alegremente e seguem com perfeição o rastro. Os cães e muitos outros animais de caça possuem essa habilidade em grau extremamente desenvolvido. A pista original contém um vestígio olfativo, um cheiro. O cheiro é simplesmente a percepção de uma variedade determinada de moléculas — neste caso, uma molécula orgânica. Para que o cão de caça seja capaz de rastrear é preciso que ele perceba a diferença de cheiro — de moléculas corporais características — entre o alvo e um desorientador e tumultuado fundo composto de outras moléculas, algumas originárias de outros seres humanos que rumaram na mesma direção (inclusive os componentes da expedição de busca) e algumas de outros animais (inclusive o próprio cão). O número de moléculas desprendidas por uma pessoa ao caminhar é relativamente pequeno. Mas, mesmo com uma pista bastante "fria" — várias horas após o desaparecimento, por exemplo —, os cães de caça podem farejar e obter êxito.

Essa extraordinária capacidade requer uma discriminação olfativa extremamente apurada, função, como já vimos, bem desempenhada até pelos insetos. O que há de mais notável nos cães de caça, o que contrasta com os insetos, é sua riqueza de capacidade discriminatória, sua aptidão para distinguir entre muitos cheiros diferentes, cada qual perdido em uma imensa variedade de outros odores de fundo. O cão de caça realiza uma complexa classificação da estrutura molecular; ele faz distinção entre a nova molécula e uma grande coleção de outras moléculas previamente sentidas pelo olfato. E, mais, o cão de caça só precisa de um minuto, se não menos, para se familiarizar com o cheiro do qual guardará lembrança por longo período de tempo.

O reconhecimento olfativo individual de moléculas é aparentemente efetuado por receptores nasais sensíveis a determinados grupos funcionais, ou partes, de moléculas orgânicas. Um dos receptores, por exemplo, pode ser sensível ao COOH, outro ao NH_2, e assim por diante. (C representa carbono, H hidrogênio, O oxigênio e N nitrogênio.) Os vários anexos e projeções das moléculas complexas aparentemente aderem a diferentes receptores moleculares na mucosa nasal, e os detectores de todos os grupos funcionais combinam-se para reunir uma espécie de imagem olfativa coletiva da molécula. Esse é um sistema sensorial extremamente apurado. O mais complexo aparelho desse tipo que o homem já fabricou, o espectrômetro de massa/ cromatografia gasosa, em geral não possui nem a sensibilidade nem a capacidade discriminatória do cão de caça, embora grande progresso esteja sendo alcançado nessa tecnologia. O sistema olfativo dos animais evoluiu até o atual refinamento graças às intensas pressões da seleção. A detecção precoce de parceiros, predadores e presas constitui questão de vida ou morte para a espécie. O sentido do olfato é muito antigo e, na verdade, grande parte da evolução precoce acima do nível do chassi neural pode ter sido estimulada pelas pressões seletivas dessa detecção molecular: os característicos bulbos olfativos no cérebro (ver figura da página **33**) encontram-se entre os primeiros componentes do neocórtex que se desenvolveram na história da vida. O sistema límbico foi até chamado de "rinencéfalo", ou seja, o cérebro do olfato, por Herrick.

O sentido do olfato não é tão bem desenvolvido no homem como o é no cão de caça. Apesar das dimensões de nossos cérebros, nossos bulbos olfativos são menores que os de muitos outros animais, e evidentemente o olfato desempenha um papel secundário em nosso dia-a-dia. As pessoas, em média, são capazes de distinguir relativamente poucos odores. Nossas descrições verbais e nossa percepção analítica do cheiro, mesmo com poucos odores em nosso repertório, são extremamente pobres. Nossa resposta a um odor mal se assemelha, em nossa própria percepção, à verdadeira estrutura tridimensional da molécula responsável pelo cheiro. O olfato é uma complexa função cognitiva que podemos desempenhar dentro de certos limites — e com considerável precisão —, mas que, na melhor das hipóteses, descrevemos de forma inadequada. E, se o cão de caça pudesse falar, acho que ele teria a mesma deficiência para descrever com pormenores aquilo que faz tão bem.

Tal como o olfato é o principal meio pelo qual os cães e muitos outros animais percebem suas imediações, a visão é o canal de informação primordial do homem. Somos capazes de uma sensibilidade e discriminação visuais pelo menos tão notáveis quanto as capacidades olfativas do cão de caça. Podemos, por exemplo, discriminar fisionomias. Bons observadores podem distinguir entre dezenas e até centenas de milhares de fisionomias diferentes; o "Identikit", material amplamente utilizado pela Interpol e pela polícia do Ocidente em geral, é capaz de formar mais de 10 bilhões de rostos diferentes. O valor de tal capacidade para a sobrevivência, sobretudo para nossos ancestrais, é bastante evidente. Mesmo assim, é extremamente difícil descrever fisionomias que somos perfeitamente capazes de reconhecer.

As testemunhas normalmente revelam total incapacidade de fazer uma descrição verbal de um indivíduo visto anteriormente, mas indicam com precisão o indivíduo quando o tornam a ver. E, embora tenham ocorrido casos de identidade trocada, os tribunais estão sempre prontos a admitir o testemunho de qualquer adulto nas questões de reconhecimento fisionômico. Considere-se como podemos distinguir com facilidade uma "celebridade" de uma vasta multidão de faces, ou como salta aos olhos nosso próprio nome quando figura em uma lista sem ordem alfabética.

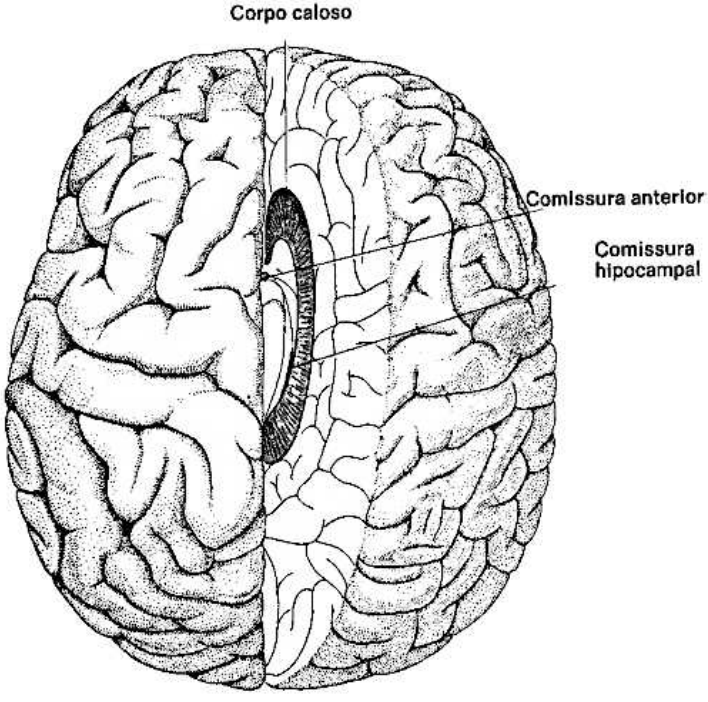
Os seres humanos e outros animais possuem capacidades cognitivas e perceptivas de grande número de dados altamente complexos, que simplesmente ultrapassam a consciência verbal e analítica que tantos de nós consideramos ser tudo o que há de nós. Essa outra espécie de conhecimento, nossas percepções e cognições não-verbais, é frequentemente considerada "intuitiva". A palavra não significa "inata". Ninguém nasce com um repertório de fisionomias implantadas no cérebro. A palavra transmite, creio eu, um difuso mal-estar por nossa incapacidade de compreender como chegamos a tal conhecimento. Mas o conhecimento intuitivo tem uma história evolutiva extremamente longa; se considerarmos a informação contida no material genético, ele remonta à origem da vida. O outro de nossos dois modos de conhecimento — aquele que no Ocidente expressa irritação acerca da existência do conhecimento intuitivo — representa uma aquisição evolutiva bastante recente. O pensamento racional, que é inteiramente verbal (com frases completas, por exemplo), tem provavelmente algumas dezenas ou centenas de milhares de anos. Existem pessoas que em suas vidas conscientes são inteiramente racionais, e muitas são quase totalmente intuitivas. Cada um dos grupos, com muito pouca compreensão do valor recíproco dessas duas espécies de capacidade cognitiva, ridiculariza o outro: "confuso" e "amoral" são adjetivos típicos usados nas discussões mais educadas. Por que devemos ter duas formas diferentes de pensar definidas e complementares que se integram tão mal uma na outra?

O primeiro indício de que essas duas formas de pensar se localizam no córtex cerebral provém do estudo de lesões cerebrais. Traumatismos ou acidentes vasculares no lobo temporal ou parietal do hemisfério esquerdo do neocórtex provocam caracteristicamente prejuízo da capacidade de ler, escrever, falar e fazer cálculos aritméticos. Lesões equivalentes no hemisfério direito acarretam prejuízo da visão tridimensional, reconhecimento do modelo, capacidade musical e raciocínio holístico. O reconhecimento fisionômico reside mais no hemisfério direito, e aqueles que "jamais esquecem uma cara" efetuam o padrão de reconhecimento no lado direito. Lesões no lobo parietal direito, realmente, resultam às vezes na incapacidade de o paciente reconhecer o próprio rosto no espelho ou em uma fotografia. Essas observações sugerem fortemente que aquelas funções que descrevemos como "racionais" localizam-se principalmente no hemisfério esquerdo, e aquelas que consideramos "intuitivas", sobretudo no direito.

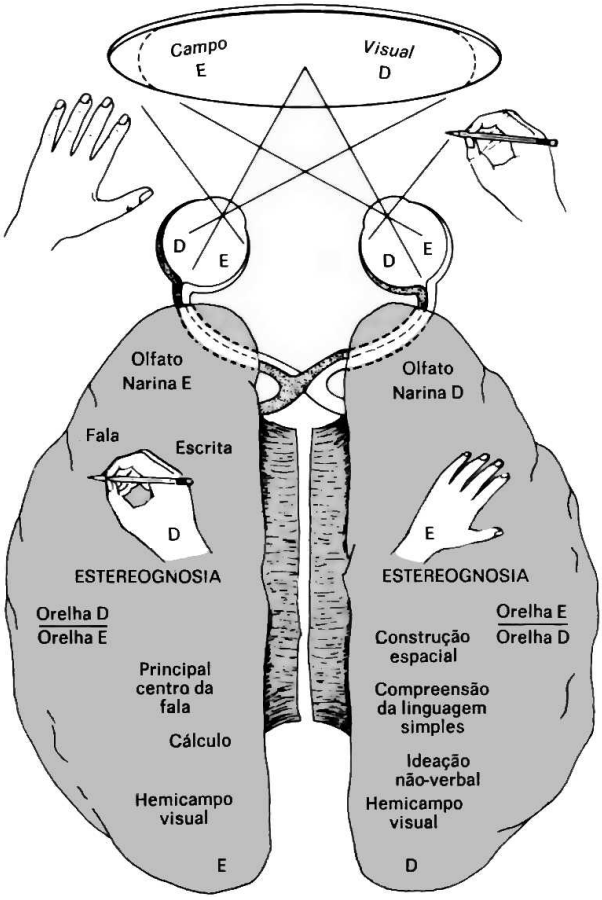
As experiências recentes mais importantes nesse terreno foram realizadas por Roger Sperry e seus colaboradores no Instituto de Tecnologia da Califórnia. Na tentativa de tratar casos graves de epilepsia tipo grande mal, cujos pacientes

sofrem de crises convulsivas praticamente contínuas (às vezes até duas crises por hora), cortava-se o corpo caloso, o feixe principal de fibras neurais que estabelece a conexão entre os hemisférios direito e esquerdo do neocórtex (ver figura abaixo). A cirurgia pretendia evitar que uma espécie de tempestade neurelétrica em um dos hemisférios se propagasse para o outro, distante do foco. Esperava-se que pelo menos um dos hemisférios, no pós-operatório, ficasse isento das crises subsequentes. O inesperado e bem-vindo resultado foi o fantástico declínio na frequência e na intensidade das crises em ambos os hemisférios — como se houvesse anteriormente um *feedback* positivo, através do qual a atividade elétrica epiléptica em cada hemisfério estimulava o outro através do corpo caloso.

Tais pacientes com "cérebro partido" parecem, ao exame superficial, inteiramente normais após a cirurgia. Alguns relatam o total desaparecimento de sonhos vívidos que tinham antes da operação. Um desses pacientes permaneceu incapaz de falar por um mês depois da cirurgia, mas sua afasia regrediu mais tarde. O comportamento e o aspecto normal dos pacientes com cérebro partido por si mesmo sugerem que é sutil a função do corpo caloso. Por aí passa um feixe de 200 milhões de fibras nervosas que processam vários bilhões de *bits* por segundo entre os dois hemisférios cerebrais. Contém cerca de 2% do número total de neurônios no neocórtex. E mesmo assim, quando seccionado, nada parece mudar. Eu acho lógico que ocorram de fato alterações, mas essas exigem um estudo mais aprofundado.



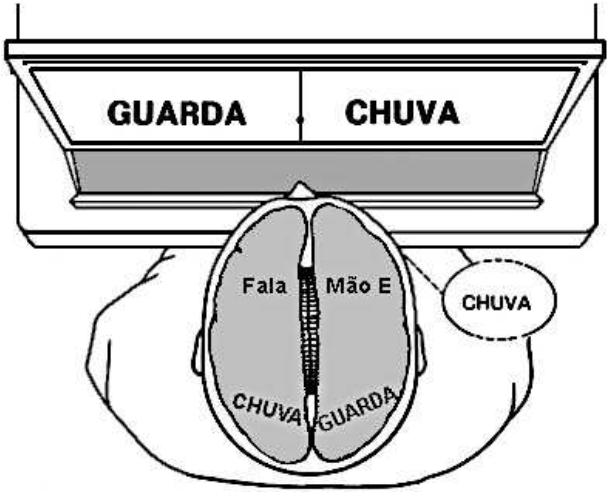
Vista superior de um cérebro humano no qual os dois hemisférios cerebrais foram separados neurocirurgicamente em uma tentativa bem-sucedida de controlar convulsões epilépticas. A separação é efetuada principalmente pelo corte do corpo caloso. As ligações menores dos dois hemisférios, a comissura anterior e a comissura hipocampal às vezes também são seccionadas. (Copyright © 1967 by Scientific American.)



Representação esquemática, segundo Sperry, do mapeamento do mundo externo nos dois hemisférios do neocórtex. Os campos visuais direito e esquerdo são projetados, respectivamente, nos lobos occipitais esquerdo e direito. O controle dos lados direito e esquerdo do corpo é cruzado também, bem como grande parte da audição. Os odores são projetados nos hemisférios no mesmo lado pelo qual a narina recebe o estimulo.

Quando examinamos um objeto à nossa direita, ambos os olhos convergem para o que chamamos de campo visual direito; e, à nossa esquerda, para o campo visual esquerdo. Mas, em virtude da forma como se conectam os nervos ópticos, o campo visual direito é integrado no hemisfério esquerdo e o campo visual esquerdo, no hemisfério direito. Da mesma forma, os sons do ouvido direito são integrados primariamente no hemisfério esquerdo do cérebro e vice-versa, embora haja um pouco de integração auditiva no mesmo lado — por exemplo, sons provenientes do ouvido esquerdo no hemisfério esquerdo. Não ocorre esse cruzamento de função no sentido olfativo, mais primitivo, e um odor detectado pela narina esquerda é integrado exclusivamente no hemisfério esquerdo. No entanto, a informação trocada entre o cérebro e os membros é cruzada. Objetos sentidos pela mão esquerda são percebidos primariamente no hemisfério direito e as ordens dadas à mão direita para que escreva uma frase são integradas no hemisfério esquerdo. Em 90% dos indivíduos normais, os centros da fala localizam-se no hemisfério esquerdo.

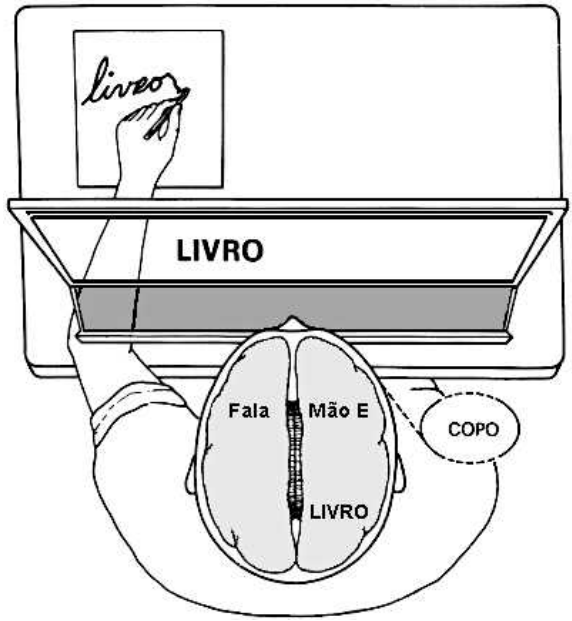
Sperry e seus colaboradores realizaram uma excelente série de experiências nas quais estímulos separados são aplicados aos hemisférios esquerdo e direito dos pacientes com cérebro partido. Em uma experiência clássica, a palavra "guarda-chuva" é projetada rapidamente sobre uma tela — mas "guarda" no campo visual esquerdo e "chuva" no campo visual direito. O paciente informa que viu a palavra "chuva", e é evidente que, pelo menos em termos de sua capacidade de comunicar-se verbalmente, ele não tem ideia de que o hemisfério direito recebeu uma impressão visual da palavra "guarda". Quando interrogado sobre o tipo de chuva, o



O indivíduo lê e informa verbalmente apenas a palavra projetada em seu campo visual direito. Não há associação, nem mesmo ao inconsciente, das palavras dos campos visuais esquerdo e direito. Segundo Sperry.

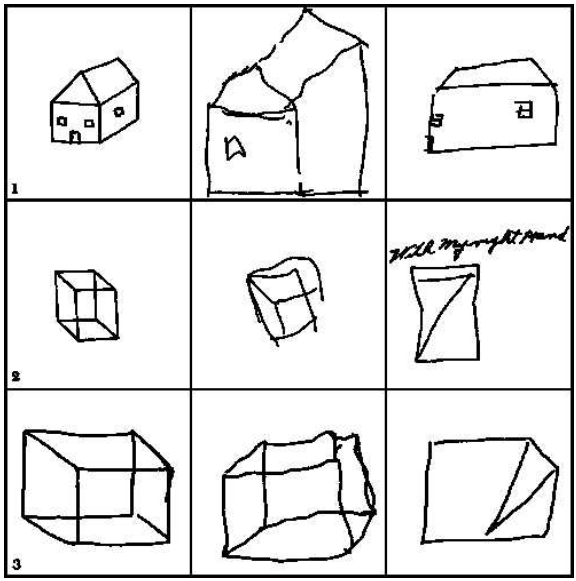
paciente arrisca: muita chuva, pouca chuva, sol e chuva. Mas quando, em experiência equivalente, pede-se ao paciente que escreva o que viu, mas com sua mão esquerda dentro de uma caixa, ele garatuja a palavra "guarda". Ele sabe pelo movimento da mão que escreveu alguma coisa, mas como não pode vê-la, não há meio de a informação chegar ao hemisfério esquerdo que controla a atividade verbal. Por incrível que possa parecer, ele é capaz de escrever a resposta, mas não consegue adivinhá-la.

Muitas outras experiências revelam resultados semelhantes. Em uma delas, o paciente é capaz de sentir letras tridimensionais de plástico, fora do alcance visual, com a mão esquerda. As letras disponíveis só podem formar uma palavra correta na língua, como "flor" ou "bom", a qual o paciente é capaz de descobrir: o hemisfério direito possui uma precária capacidade verbal, grosseiramente comparável à dos sonhos. Mas, após soletrar corretamente a palavra, o paciente é incapaz de dar qualquer indicação verbal de qual palavra soletrou. Parece evidente que, nos pacientes com cérebro partido, cada hemisfério tem uma vaga ideia do que o outro hemisfério aprendeu.



Um paciente com cérebro partido ao ser apresentado a uma palavra em seu campo visual esquerdo escreve corretamente (e em letras manuscritas de preferência, e não em letra de forma) a palavra com a mão fora do alcance visual. Mas quando se pergunta ao indivíduo o que sua mão esquerda escreveu, ele dá uma resposta inteiramente errada ("copo"). Segundo Nebes e Sperry.

A incompetência geométrica do hemisfério esquerdo é impressionante; basta ver a ilustração seguinte: um paciente destro, de cérebro partido, era capaz de copiar representações simples de figuras tridimensionais com precisão apenas com sua mão esquerda (sem treino). A superioridade do hemisfério direito em geometria parece restrita a tarefas manuais; esse domínio não se aplica a outros tipos de funções geométricas que não exigem coordenação mão-olho-cérebro. Essas atividades geométricas de manipulação parecem localizar-se no lobo parietal do hemisfério direito, em um lugar correspondente, no hemisfério esquerdo, à linguagem. M. S. Gazzaniga, da Universidade Estadual de Nova York, em Stony Brook, sugere que essa especialização hemisférica ocorre porque a linguagem é desenvolvida no hemisfério esquerdo antes de a criança adquirir competência considerável em habilidades manuais e visualização geométrica. De acordo com esse ponto de vista, a especialização do hemisfério direito para a competência geométrica é uma especialização por falta — a competência do hemisfério esquerdo foi redirigida no sentido da linguagem.



Incompetência relativa do hemisfério esquerdo em copiar figuras geométricas. Segundo Gazzaniga.

Pouco tempo depois da conclusão de uma das experiências mais convincentes de Sperry, ele deu uma festa para a qual foi convidado um famoso físico teórico com o corpo caloso íntegro. O físico, conhecido por seu grande senso de humor, sentou-se quieto, escutando com interesse as descrições de Sperry acerca das descobertas relacionadas com o cérebro partido. A noite se passou, os convidados despediram-se e Sperry viu-se à porta acenando até-logo para o último deles. O físico estendeu a mão direita, apertou a de Sperry e disse-lhe que tivera uma noite fascinante. Depois, com um pequeno movimento, inverteu as posições dos pés direito e esquerdo, estendeu a mão esquerda e disse em voz gutural e estridente: "Eu quero que você saiba que também tive momepntos terríveis".

Quando a comunicação entre os dois hemisférios cerebrais está prejudicada, o paciente costuma achar inexplicável seu próprio comportamento e é evidente que mesmo "falando claro" o indivíduo que fala pode não saber o que está dizendo. (Compare com a citação de *Fedro* na Introdução deste livro.) A relativa independência dos dois hemisférios se faz sentir na vida diária. Já nos referimos à dificuldade de descrever verbalmente as complexas percepções do hemisfério direito. Muitas tarefas físicas elaboradas, inclusive o atletismo, parecem ter pouca

participação do hemisfério esquerdo. Uma reconhecida artimanha em tênis, por exemplo, consiste em perguntar ao adversário onde é exatamente que ele coloca o polegar na raquete. Acontece frequentemente que a atenção do hemisfério esquerdo voltada para essa pergunta destruirá, pelo menos por breve período de tempo, o seu jogo. Grande parte da habilidade musical é função do hemisfério direito. É lugar-comum memorizar uma canção ou um tema musical sem ter a menor capacidade de escrevê-la em caracteres musicais. Ao piano, podemos descrever isso dizendo que nossos dedos (mas não nós mesmos) memorizaram a música.

Tal memorização pode ser bastante complexa. Recentemente, tive o prazer de testemunhar o ensaio de um concerto de piano por uma grande orquestra sinfônica. Nesse tipo de ensaio, o maestro geralmente não começa do início e vai seguindo até o fim. Em vez disso, em virtude dos altos custos do tempo despendido, bem como da competência dos executantes, ele se concentra nos trechos difíceis. Fiquei impressionado não apenas com o fato de a solista ter decorado toda a composição, mas também por ser capaz de começar em qualquer ponto solicitado da composição após uma rápida olhada no compasso designado na partitura. Essa invejável habilidade é uma função mista do hemisfério esquerdo e direito. É extremamente difícil memorizar uma composição musical que nunca se ouviu antes de forma a ser capaz de começar a partir de qualquer trecho. Em terminologia de computador, a pianista tinha acesso aleatório, em vez de acesso seriado, à composição.

Esse é um bom exemplo da cooperação entre os hemisférios esquerdo e direito em muitas das atividades humanas mais difíceis e altamente valorizadas. É de importância capital não superestimar a separação das funções em qualquer dos lados do corpo caloso em um ser humano normal. A existência de um sistema telefônico tão complexo quanto o corpo caloso tem de significar, cumpre frisar novamente, que a interação dos hemisférios é uma função humana vital.

Além do corpo caloso, existe outra ligação telefônica neural entre os hemisférios esquerdo e direito, que se denomina comissura anterior. É muito menor que o corpo caloso e está presente no cérebro dos peixes, coisa que não ocorre com o corpo caloso. Nas experiências humanas com o cérebro partido nas quais o corpo caloso é secionado, a informação olfativa é invariavelmente transferida entre os hemisférios. A transferência ocasional de parte da informação visual e auditiva por intermédio da comissura anterior também parece ocorrer, mas varia de paciente para paciente. Essas observações são compatíveis com a anatomia e a evolução; a comissura anterior (e a comissura hipocampal) situa-se mais profundamente em relação ao corpo caloso e transfere a informação ao córtex límbico e talvez a outros componentes cerebrais mais arcaicos.

Os seres humanos apresentam uma interessante separação das habilidades musicais e verbais. Pacientes portadores de lesões do lobo direito ou de hemisferectomia direita sofrem considerável prejuízo da capacidade musical mas não da verbal — sobretudo do reconhecimento e da memória das melodias. Sua capacidade de ler música, no entanto, não é prejudicada. Isso parece perfeitamente

compatível com a separação das funções descritas: a memorização e a apreciação da música envolvem o reconhecimento de padrões auditivos e um temperamento holístico em lugar de analítico. Existem alguns indícios de que a poesia é parcialmente função do hemisfério direito; em alguns casos, o paciente começa a escrever poesia pela primeira vez na vida depois de uma lesão no hemisfério esquerdo tê-lo deixado afásico. Mas isso seria, talvez, nas palavras de Dryden, "*mera* poesia". Ademais, o hemisfério direito é aparentemente incapaz de fazer rimas.

A separação ou lateralização da função cortical foi descoberta através de experiências realizadas em indivíduos portadores de lesões cerebrais. É, contudo, importante demonstrar que as conclusões se aplicam aos indivíduos normais. As experiências de Gazzaniga apresentam a indivíduos sem lesão cerebral metade de uma palavra no campo visual esquerdo e metade no direito, como no caso dos pacientes de cérebro partido, e a reconstrução da palavra é monitorizada. Os resultados indicam que, no cérebro normal, o hemisfério direito efetua muito pouco processamento da linguagem, mas, por outro lado, transmite o que observou no hemisfério esquerdo através do corpo caloso, onde a palavra é formada de uma forma integral. Gazzaniga também encontrou um paciente de cérebro partido cujo hemisfério direito era surpreendentemente competente nas habilidades linguísticas: mas esse paciente sofrera uma patologia cerebral na região temporoparietal do hemisfério esquerdo nos primeiros anos de vida. Já nos referimos à capacidade cerebral de relocalizar funções após lesão nos dois primeiros anos de vida, mas não posteriormente.

Robert Ornstein e David Galin, do Instituto Neuropsiquiátrico Langley Porter, em San Francisco, afirmam que, à medida que os indivíduos normais passam das atividades intelectuais analíticas para as sintéticas, a atividade eletrencefalográfica dos hemisférios correspondentes varia de uma forma prevista: quando o indivíduo faz cálculos aritméticos mentalmente, por exemplo, o hemisfério direito exibe um ritmo alfa característico de um hemisfério cerebral "ocioso". Se esse resultado for confirmado, será uma descoberta muito importante.

Ornstein oferece uma analogia bastante interessante para explicar por que, pelo menos no Ocidente, fizemos tanto contato com as funções do hemisfério esquerdo e tão pouco com as do direito. Ele sugeriu que nossa percepção da função do hemisfério direito assemelha-se à nossa capacidade de ver estrelas durante o dia. O sol está tão brilhante que as estrelas se tornam invisíveis, apesar do fato de estarem tão presentes no firmamento durante o dia quanto durante a noite. Quando o sol se põe, somos capazes de perceber as estrelas. Da mesma forma, o brilho de nossa aquisição evolutiva mais recente, as capacidades verbais do hemisfério esquerdo, obscurece nossa percepção das funções do intuitivo hemisfério direito, que em nossos ancestrais deve ter representado o principal meio de perceber o mundo. (Refere-se frequentemente a que a maconha aguça nossa percepção e nossas habilidades na música, na arte, no reconhecimento de padrões e sinais e nossa sensibilidade à comunicação não-verbal. De acordo com o que sei, nunca foi relatada uma melhora na capacidade de ler e compreender Ludwig Wittgenstein ou Immanuel Kant; de calcular os reforços das pontes; ou de computar as transformações de Laplace. Comumente o indivíduo tem dificuldade até para escrever seus

pensamentos de forma coerente. Eu me pergunto se, ao invés de estimular, os canabinóis (os ingredientes ativos da maconha) não suprimem simplesmente o hemisfério esquerdo e permitem a manifestação das estrelas. Esse também pode ser o objetivo de estados meditativos de muitas religiões orientais.)

O hemisfério esquerdo integra a informação de forma sequencial; o hemisfério direito simultaneamente, recebendo vários impulsos ao mesmo tempo. O hemisfério esquerdo trabalha em série; o direito, em paralelo. O hemisfério esquerdo, de certa forma, se assemelha a um computador digital; o direito, a um computador analógico. Sperry sugeriu que a separação da função dos dois hemisférios é consequência de uma "incompatibilidade básica". Talvez hoje sejamos capazes de perceber diretamente as operações do hemisfério direito, sobretudo quando o hemisfério esquerdo repousa — ou seja, durante os sonhos.

No capítulo anterior, sugeri que um dos aspectos mais importantes do estado onírico seria a falta de domínio, durante a noite, dos processos do complexo-R que estiveram intensamente reprimidos pelo neocórtex durante o dia. Mas mencionei que o importante conteúdo simbólico dos sonhos mostrava considerável participação neocortical, embora as frequentes dificuldades referidas de ler, escrever e de usar a memória aritmética e verbal durante os sonhos fossem enormes.

Além do conteúdo simbólico dos sonhos, outros aspectos da imagem onírica assinalam a participação neocortical no processo onírico. Por exemplo, muitas vezes tive sonhos nos quais o desfecho ou a "surpresa do enredo" só eram possíveis em virtude de pistas — aparentemente sem importância — inseridas muito antes do sonho. Toda a trama criada no sonho devia estar na minha mente por ocasião de seu início. (A propósito, o tempo necessário para o desenrolar dos acontecimentos durante o sonho equivale ao tempo transcorrido na vida real.) Conquanto o conteúdo de muitos sonhos pareça casual, outros são notavelmente bem-estruturados; esses sonhos em muito se assemelham às peças teatrais.

Agora reconhecemos a possibilidade muito atraente de que o hemisfério esquerdo do neocórtex seja suprimido no estado onírico, enquanto o hemisfério direito — que possui uma extensa familiaridade com os sinais, mas apenas hesitante instrução verbal — está funcionando bem. É possível que o hemisfério esquerdo não esteja completamente desligado à noite, mas que esteja executando tarefas que o tornam inacessível à consciência: está intensamente ocupado com a seleção dos dados liberados pela memória de curto prazo, determinando o que deve permanecer na memória de longo prazo.

Existem casos eventuais, embora fidedignos, de difíceis problemas intelectuais resolvidos em sonho. Talvez o mais famoso tenha sido o sonho do químico alemão Friedrich Kekulé von Stradonitz. Em 1865, o problema mais urgente e enigmático na química orgânica estrutural era a natureza da molécula do benzeno. As estruturas de diversas moléculas orgânicas simples vinham sendo deduzidas a partir de suas propriedades, e todas eram lineares, estando os átomos ligados uns aos outros em linha reta. Segundo seu próprio relato, Kekulé estava cochilando em uma carruagem puxada a cavalo quando teve uma espécie de sonho em que átomos dançavam em disposições lineares. Subitamente, o final da cadeia

emaranhou-se com o começo e formou um anel de lentos movimentos rotativos. Ao despertar e lembrar-se desse fragmento do sonho, Kekulé percebeu imediatamente que a solução para o problema do benzeno era um anel hexagonal de átomos de carbono, e não uma cadeia reta. Note-se, contudo, que isso é puramente um exercício de reconhecimento de modelo e não uma atividade analítica. É típico de quase todos os atos criativos famosos consumados em estado onírico: são atividades do hemisfério direito, e não do esquerdo.

O psicanalista americano Erich Fromm escreveu: "**Não devemos esperar que, quando privados do mundo exterior, regridamos temporariamente a um estado mental primitivo, animalesco e destituído de razão? Muito se pode dizer em favor de tal suposição, e o ponto de vista de que tal regressão representa a característica essencial do sono, e por conseguinte da atividade onírica, foi sustentado por muitos estudiosos, de Platão a Freud**". Fromm prossegue e assinala que às vezes atingimos em sonho percepções que nos fogem em vigília. Mas acredito que essas percepções sempre têm um caráter intuitivo ou de reconhecimento de modelo. O aspecto "animalesco" do estado onírico pode ser compreendido como as atividades do complexo-R e do sistema límbico, e a percepção intuitiva eventualmente brilhante, como a atividade do hemisfério direito do neocórtex. Ambos os casos ocorrem porque em cada um deles as funções repressivas do hemisfério esquerdo estão em grande parte desligadas. Fromm chama essas percepções do hemisfério direito de "a linguagem esquecida" — e ele admite que constituem a origem comum dos sonhos, contos de fadas e mitos.

Nos sonhos, às vezes estamos cientes de que uma pequena parte de nós está placidamente vigiando; frequentemente, em uma parte do sonho, existe uma espécie de observador. É essa parte "observadora" de nossas mentes que eventualmente — às vezes no meio de um pesadelo — nos diz: "Isto é apenas um sonho". É o "observador" que avalia a unidade dramática de uma trama bem estruturada. A maior parte do tempo, no entanto, o "observador" está em completo silêncio. Nas experiências com drogas psicodélicas — por exemplo, com maconha ou LSD —, a presença desse "observador" é relatada comumente. As experiências com LSD podem ser extremamente terríveis, e muitas pessoas me contaram que a diferença entre a sanidade e a loucura na experiência do LSD repousa inteiramente na presença continuada do "observador", uma pequena e silenciosa parte da consciência desperta.

Em uma experiência com maconha, meu informante tomou conhecimento da presença e, de uma estranha forma, da incongruência desse silencioso "observador", que responde com interesse e eventual comentário crítico à imagem onírica calidoscópica da experiência com a maconha, mas da qual não participa. "Quem é você?", perguntou meu informante silenciosamente. "Quem quer saber?", respondeu ele, tornando a experiência muito semelhante a uma parábola sufi ou zen. Mas a pergunta de meu informante é profunda. Eu diria que o observador representa uma pequena parcela das faculdades críticas do hemisfério esquerdo, que funciona muito mais nas experiências psicodélicas do que nas oníricas, mas está presente, até certo ponto, em ambas. Entretanto, persiste a antiga indagação

sem resposta: "Quem é que faz a pergunta?"; talvez seja outro componente do hemisfério cerebral esquerdo.

Verificou-se uma assimetria dos lobos temporais entre os hemisférios esquerdo e direito nos seres humanos e nos chimpanzés, sendo uma porção do lobo esquerdo consideravelmente mais desenvolvida. Os seres humanos nascem com essa assimetria (que se desenvolve precocemente na vigésima nona semana de gestação), o que sugere uma forte predisposição genética a controlar a fala no lobo temporal esquerdo. (Contudo, no primeiro ou segundo ano de vida, as crianças portadoras de lesões no lobo temporal esquerdo são capazes de desenvolver todas as funções da fala na porção correspondente do hemisfério direito, sem dificuldade. Em idade mais avançada, essa substituição é impossível.) Ademais, observa-se a lateralização no comportamento das crianças pequenas. Elas têm maior capacidade de compreender os elementos verbais com o ouvido direito e os elementos não-verbais com o esquerdo; isso também se verifica nos adultos. Da mesma forma, os lactentes gastam mais tempo em média olhando os objetos à sua direita do que os objetos à sua esquerda, e exigem um ruído mais alto no ouvido esquerdo do que no direito para provocar uma resposta. Embora não se tenha apurado assimetria evidente desse tipo nos cérebros ou no comportamento dos antropoides, os resultados de Dewson (ver página **74**) sugerem que pode haver certa lateralização nos primatas superiores; não existem indícios de assimetria nos lobos temporais dos macacos *Rhesus*, por exemplo. Poder-se-ia supor, certamente, que as capacidades linguísticas dos chimpanzés são governadas, como nos seres humanos, pelo lobo temporal esquerdo.

O limitado número de gritos simbólicos dos primatas não-humanos parece ser controlado pelo sistema límbico; pelo menos, todo o repertório vocal do macaco-de-cheiro e do macaco *Rhesus* pode ser provocado pela estimulação elétrica do sistema límbico. A linguagem humana é controlada pelo neocórtex. Por conseguinte, uma etapa essencial na evolução humana deve ter sido a transferência do controle da linguagem vocal do sistema límbico para os lobos temporais do neocórtex, uma transição da comunicação intuitiva para a aprendida. Entretanto, a surpreendente capacidade dos antropoides de aprenderem a linguagem gestual e o vestígio de lateralização do cérebro do chimpanzé sugerem que a aquisição da linguagem simbólica voluntária pelos primatas não é uma conquista recente. Ao contrário, ela remonta a milhões de anos atrás e é compatível com os indícios encontrados nos moldes intracranianos da área de Broca no *Homo habilis*.

No cérebro do macaco, as lesões das regiões neocorticais responsáveis pela fala nos seres humanos não prejudicam a vocalização instintiva. O desenvolvimento da linguagem humana deve, portanto, envolver um sistema cerebral essencialmente novo e não simplesmente um remanejamento da maquinaria para os gritos e chamados límbicos. Alguns peritos em evolução humana propuseram que a aquisição da linguagem tenha ocorrido muito tardiamente — talvez somente nas últimas dezenas de milhares de anos — e esteja ligada aos desafios da última era glacial. Os dados, porém, não parecem compatíveis com esse ponto de vista; além

disso, os centros da fala do cérebro humano são tão complexos que é muito difícil imaginar sua evolução nos últimos milhares de anos ou desde o clímax da era glacial mais recente.

As indicações sugerem que em nossos ancestrais de algumas dezenas de milhões de anos atrás havia um neocórtex no qual os hemisférios esquerdo e direito desempenhavam funções correspondentes e redundantes. Desde então, a postura ereta, o uso de instrumentos e o desenvolvimento da linguagem promoveram a evolução mútua um do outro, em que uma pequena aquisição na área da linguagem, por exemplo, permitia uma melhora adicional nas machadinhas manuais, e vice-versa. A evolução cerebral correspondente parece ter seguido, através da especialização de um dos dois hemisférios, para o pensamento analítico.

A redundância original, a propósito, equivale a um prudente projeto de computação. Por exemplo, sem nenhum conhecimento da neuranatomia do neocórtex cerebral, os engenheiros que projetaram a memória a bordo do trem de pouso da nave Viking acoplaram dois computadores idênticos, com programação idêntica. Mas, em virtude da sua complexidade, logo surgiram diferenças entre os computadores. Antes do pouso em Marte, foi feito um teste de inteligência com os computadores (por um computador mais inteligente, da Terra). O cérebro mais "burro" foi então desligado. Talvez a evolução humana se tenha comportado de maneira semelhante e nossas capacidades racionais e analíticas altamente dotadas se localizem no "outro" cérebro — aquele que não era totalmente capaz de pensamento intuitivo. A evolução utiliza frequentemente essa estratégia. De fato, a prática evolutiva típica de aumentar a quantidade de informação genética à medida que os organismos se tornam cada vez mais complexos é efetuada pela duplicação de parte do material genético e posteriormente pela lenta especialização de função do conjunto redundante.

Quase sem exceção, todas as línguas humanas formaram uma polaridade, uma curva para a direita. **Direito** relaciona-se com a legalidade, o comportamento correto, os elevados princípios morais, a firmeza e a masculinidade; **esquerdo**, com a fraqueza, a covardia, a dispersão de propósito, o mal e a feminilidade. Em inglês, por exemplo, temos *rectitude, rectify, righteous, right-hand man, dexterity, adroit* [24](do francês *à droite = à direita*), *rights*, usada em *the rights of man* (os direitos do homem), e a expressão *in his right mind* (em perfeito juízo). Mesmo a palavra *ambidextrous* significa, em última análise, duas mãos direitas.

Por outro lado (literalmente), temos *sinister* (quase exatamente a palavra latina que significa *esquerdo*), *gauche* (desastroso) (precisamente a palavra francesa para *esquerdo*), *gawky* (palerma), *gawk* (desajeitado) e *left-handed compliment* (falso cumprimento). O vocábulo *nalevo*, em russo, significa *esquerdo* e também *sub-reptício*. Em italiano, *mancino* significa *esquerdo* e *enganador*. Não existe nenhuma "Bill of Lefts" (*Carta de Esquerdas*, uma alusão a *Carta de Direitos*).

24 Palavras cujos conceitos são derivados de "right" (direito, reto): retidão, retificar, justo, braço direito (referindo-se a pessoas), destreza, hábil (N. do E.)

Etimologicamente, a palavra *left* origina-se de *lyft*, termo anglo-saxônico que significa *fraco* ou *inútil*. *Direito* no sentido legal (como uma ação em acordo com as leis da sociedade) e *direito* no sentido lógico (como oposto de errado) também são palavras de sentido comum em muitos idiomas. O uso político de esquerda e direita parece remontar à época na qual surgiu uma considerável força política leiga em contraposição à nobreza. Os nobres se colocavam à direita do rei e os novos-ricos radicais — os capitalistas —, à esquerda. Os nobres, naturalmente, tomavam lugar à direita porque o próprio rei também era um nobre; e seu lado direito era a posição favorita. Em teologia, como em política: "À direita de Deus Pai, Todo-Poderoso".

Podem-se encontrar muitos exemplos de relação entre *direito* e *reto*[25]. No espanhol falado no México, indica-se reto (em frente) dizendo "*derecho derecho*", no inglês dos negros americanos, "*right on*" é uma expressão de aprovação, frequentemente em relação a um sentimento eloquente ou habilmente expresso. *Reto*, em linguagem coloquial, muitas vezes significa *convencional*, *correto* ou *adequado*. Em russo, *direito* é *prava*, uma palavra cognata de *pravda*, que significa *verdade*. E em muitos idiomas *verdade* possui um sentido adicional de *reto* ou *exato*, como em "seu objetivo era verdadeiro".

O teste de QI de Stanford-Binet faz certo esforço para examinar tanto a função do hemisfério esquerdo quanto a do direito. Para a função do hemisfério direito, existem testes nos quais se pede ao indivíduo para adivinhar a configuração aberta de uma folha de papel depois que é dobrada várias vezes e um pequeno pedaço é cortado com uma tesoura; ou para avaliar o número total de blocos em uma pilha quando alguns deles estão escondidos. Embora os preconizadores do teste de Stanford-Binet considerem essas questões de concepção geométrica muito úteis na determinação da "inteligência" das crianças, são cada vez menos úteis nos testes de QI de adolescentes e de adultos. Certamente, não há margem nesses testes para avaliar os rasgos intuitivos. Não surpreende notar que os testes de QI são altamente orientados no sentido do hemisfério esquerdo.

A veemência dos preconceitos em prol do hemisfério esquerdo e da mão direita me faz lembrar uma guerra na qual o lado que mal acabou de vencer rebatiza os partidos em disputa e os pontos controversos, de forma que as gerações futuras não tenham dificuldade em decidir de que lado fica a lealdade prudente. Quando o partido de Lênin era um grupo minoritário dissidente no socialismo russo, ele o denominou Partido Bolchevique, que em russo significa "partido da maioria". Condescendentemente, e com notável inabilidade, a oposição adotou a designação de *mencheviques*, o partido da minoria. Dentro de uma década e meia, realmente passaram a sê-lo. Da mesma forma, nas associações mundiais das palavras **direito** e **esquerdo** parecem transparecer indícios de um rancoroso conflito desde os

25 Imagino que exista algum significado no fato de as línguas latinas, germânicas e eslavas, por exemplo, serem escritas da esquerda para a direita, e as línguas semíticas, da direita para a esquerda. Os gregos antigos escreviam em ziguezague (tal como o boi puxa o arado): da esquerda para a direita em uma linha, da direita para a esquerda na seguinte.

primórdios da história da humanidade[26]. O que poderia suscitar tão poderosas emoções?

No combate com armas cortantes ou perfurantes — e em esportes como o boxe, o beisebol e o tênis —, um competidor treinado com o uso da mão direita se encontrará em desvantagem quando inesperadamente confrontado com um canhoto. Além disso, um malevolente esgrimista canhoto pode ser capaz de se aproximar bastante de seu adversário com a mão direita livre, simulando um gesto de desarmamento e paz. Essas circunstâncias, porém, não parecem capazes de explicar a extensão e a profundidade da aversão à mão esquerda, nem a amplitude do chauvinismo direita com relação às mulheres — tradicionalmente não-combatentes.

Talvez uma possibilidade remota esteja ligada à carência de papel higiênico nas sociedades pré-industrializadas. Na maior parte da história da humanidade, e em muitos lugares ainda hoje, a mão desocupada é utilizada para a higiene pessoal após a defecação, fato da vida das culturas pré-tecnológicas. Isso não significa que aqueles que seguem esse costume o apreciem. Não é apenas esteticamente indesejável, como também envolve um grave risco de transferir doenças aos outros e a si mesmo. A precaução mais simples consiste em cumprimentar e comer com a outra mão. Quase sem exceção, nas sociedades humanas pré-tecnológicas, a mão esquerda é usada para tais funções higiênicas e a mão direita para cumprimentar e comer. Lapsos ocasionais dessa convenção são encarados com visível horror. Severos castigos têm sido impostos a crianças pequenas pela violação da preferência convencional da mão direita; e muitas pessoas do Ocidente ainda podem lembrar-se de uma época na qual havia rigorosa censura contra apanhar objetos com a mão esquerda. Acredito que este relato possa explicar a virulência contra associações com "esquerda" e a linguagem bombástica autocongratulatória defensiva ligada a associações com a palavra "direita" que são lugares-comuns em nossa sociedade destra. A explicação, no entanto, não esclarece por que as mãos direita e esquerda foram inicialmente escolhidas para essas funções em particular. Pode-se argumentar que, estatisticamente, existe uma possibilidade em duas de que as funções de higiene fossem relegadas à mão esquerda. Mas esperaríamos então que uma em cada duas sociedades adotasse a mão esquerda. Na realidade, tais sociedades não existem. Em uma sociedade na qual a maioria das pessoas é destra, as tarefas que exigem precisão, tais como comer e lutar, devem ser atribuídas à mão favorecida, deixando como sobra as funções de higiene com o lado esquerdo. Mas isso também não explica por que a sociedade é destra. Em seu sentido mais profundo, a explicação deve estar em outro ponto.

26 Um conjunto bastante diferente de circunstâncias é revelado por outro par de opostos polares verbais: preto e branco. Apesar de expressões em inglês tais como "as different as black and white" ("tão diferentes quanto o preto e o branco"), as duas palavras parecem ter a mesma origem. **Black** origina-se da palavra anglo-saxônica *blaece* e **white** da palavra também anglo-saxônica *blac*, que ainda figura nos cognatos *blanch* (branquear), *blank* (em branco), *bleak* (desabrigado) e na palavra francesa *blanc*. Tanto o preto quanto o branco têm como propriedades características a ausência de cor, e o emprego da mesma palavra para ambos os conceitos sempre me chocou nos textos antigos, como a lenda da Távola Redonda.

Não existe ligação direta entre a mão preferida para a maioria das tarefas e o hemisfério cerebral que controla a fala; a maioria dos canhotos pode ainda apresentar os centros da fala no hemisfério esquerdo, embora esse aspecto seja controverso. Contudo, considera-se que a preferência de uma das mãos esteja ligada à lateralização cerebral. Alguns indícios sugerem que os canhotos são mais propensos a ter problemas relacionados com as funções do hemisfério esquerdo tais como ler, escrever, falar e fazer cálculo aritmético; e mais dotados nas funções do hemisfério direito, tais como a imaginação, o reconhecimento de modelos e a criatividade geral[27]. Alguns dados sugerem que os seres humanos são geneticamente predispostos a adotar a mão direita. Por exemplo, o número de cristas nas impressões digitais dos fetos durante o terceiro e o quarto mês de gestação é maior na mão direita do que na esquerda, e esse predomínio persiste através da vida fetal e após o nascimento.

Australopitecíneos robustos. Esses animais podem ter apresentado predomínio da mão direita; o australopitecíneo grácil muito provavelmente apresentava (© Giovanni Caselli)

27 Os únicos presidentes americanos canhotos foram Harry Truman e Gerald Ford. Não tenho certeza se isso é compatível ou incompatível com a correlação proposta (fraca) entre predomínio da mão e função hemisférica. Leonardo da Vinci pode ser o exemplo mais iluminado do gênio criativo dos canhotos.

Foram obtidas informações a respeito da predominância da mão nos australopitecíneos a partir de análises de crânios fósseis de babuínos fraturados com clavas de osso ou de madeira por esses parentes primitivos do homem. O descobridor dos fósseis de australopitecíneos, Raymond Dart, concluiu que 20 por cento destes eram canhotos, o que corresponde grosseiramente à fração observada no homem moderno. Em contraposição, enquanto outros animais frequentemente revelam forte preferência por uma das patas, essa preferência é quase equivalente entre esquerda e direita.

As distinções esquerda/direita estão profundamente arraigadas no passado de nossa espécie. Eu me pergunto se algum vestígio da batalha entre o racional e o intuitivo, entre os dois hemisférios do cérebro, não influenciou a polaridade entre as palavras que designam direito e esquerdo: é o hemisfério verbal que controla o lado direito. É possível que não haja realmente mais destreza na mão direita; mas certamente ela tem melhor reputação. O hemisfério esquerdo, ao que parece, sente-se em posição bastante defensiva — de certo modo inseguro — a respeito do hemisfério direito; e, se isso é verdade, o criticismo verbal do pensamento intuitivo torna-se suspeito no terreno da motivação. Infelizmente, existem todas as razões para se pensar que o hemisfério direito tenha desconfianças semelhantes a respeito do esquerdo — não expressas verbalmente, é claro.

Admitindo a validade de ambos os métodos de pensar, o do hemisfério esquerdo e o do hemisfério direito, devemos indagar se são igualmente eficazes e úteis em circunstâncias novas. Não há dúvida de que o pensamento intuitivo do hemisfério direito é capaz de perceber padrões e conexões difíceis demais para o hemisfério esquerdo; mas ele pode também detectar padrões onde não existe nenhum. O pensamento cético e crítico não representa uma característica do hemisfério direito. E as doutrinas puras do hemisfério direito, particularmente quando criadas durante circunstâncias ou tentativas novas, podem ser erradas ou paranoides.

Experiências recentes realizadas por Stuart Dimond, um psicólogo da Universidade de Cardiff, no País de Gales, utilizam lentes de contato especiais a fim de exibir filmes apenas para o hemisfério direito ou para o esquerdo. Naturalmente, a informação que chega a um hemisfério em um indivíduo normal pode ser transmitida através do corpo caloso para o outro hemisfério. As pessoas foram solicitadas a avaliar uma série de filmes em termos do conteúdo emocional. Essas experiências mostraram uma notável tendência do hemisfério direito a encarar o mundo de forma mais desagradável, hostil e até amarga do que o hemisfério esquerdo. Os psicólogos de Cardiff também descobriram que, quando ambos os hemisférios estão trabalhando, nossas respostas emocionais são muito semelhantes às do hemisfério esquerdo. O negativismo do hemisfério direito parece ser intensamente moderado no dia-a-dia pelo hemisfério esquerdo, mais condescendente. Mas um caráter emocional escuro e suspeitoso parece ocultar-se no hemisfério direito, o que pode explicar parte da antipatia sentida por nossas personalidades orientadas segundo o hemisfério esquerdo pela qualidade "sinistra" da mão esquerda e do hemisfério direito.

No pensamento paranoide, a pessoa acredita ter detectado uma conspiração — ou seja, um padrão oculto (e malévolo) no comportamento de amigos, sócios ou governantes —, quando na realidade esse padrão não existe. Se existe tal conspiração, o indivíduo pode tornar-se profundamente ansioso, mas seu pensamento não é necessariamente paranoide. Um caso famoso envolveu James Forrestal, o primeiro-secretário da Defesa dos Estados Unidos. No final da II Guerra Mundial, Forrestal convenceu-se de que agentes secretos de Israel o seguiam por toda parte. Seus médicos, igualmente convencidos do absurdo dessa ideia fixa, diagnosticaram paranoia e o confinaram a um andar superior do Hospital do Exército Walter Reed, do qual ele saltou e morreu, em parte pela inadequada supervisão da equipe hospitalar, excessivamente respeitosa com alguém de patente tão elevada. Mais tarde descobriu-se que Forrestal estava realmente sendo seguido por agentes israelenses que temiam um entendimento secreto com os representantes dos países árabes. Forrestal tinha outros problemas, mas de nada valeu a percepção do fato, que foi rotulada como paranoide.

Em épocas de mudança social brusca, há uma tendência para as conspirações, tanto pelos que vão beneficiar-se com a mudança quanto pelos que defendem o *status quo*, os últimos mais do que os primeiros na história política americana recente. Detectar conspirações onde não existem é um sintoma de paranoia; detectá-las onde existem é um sinal de saúde mental. Um conhecido meu diz: **"Na América de hoje, se você não for meio paranoico, você não tem juízo".** A observação, no entanto, tem aplicação global.

Não há como dizer se os padrões extraídos pelo hemisfério direito são reais ou imaginários sem submetê-los ao escrutínio do hemisfério esquerdo. Por outro lado, o mero pensamento crítico, sem vislumbres criativos e intuitivos, sem a busca de novos padrões, é estéril e condenado. A resolução de problemas complexos em circunstâncias novas requer a atividade de ambos os hemisférios cerebrais: o caminho do futuro repousa no corpo caloso.

Um exemplo de comportamento diferente surgido de diferentes funções cognitivas — um entre muitos exemplos — é a reação habitual do homem ante a visão de sangue. Muitos de nós sentimos náuseas ou repugnância, ou até desmaiamos, à visão de alguém sangrando copiosamente. O motivo me parece claro. Durante anos associamos nosso próprio sangramento a dor, ferimento e violação corporal; experimentamos então uma solidária ou vicariante agonia ao ver alguém sangrando. Reconhecemos sua dor. Este é quase certamente o motivo pelo qual a cor vermelha é usada para indicar perigo ou parada[28] em diversas sociedades humanas. (Se o pigmento transportador de oxigênio de nosso sangue fosse verde — o que bioquimicamente seria viável —, todos nós consideraríamos o verde como um aviso quase natural de perigo e acharíamos alegre a cor vermelha.) Um médico treinado, por outro lado, tem um conjunto diferente de percepções quando confrontado com sangue. Qual o órgão lesado? Qual o volume de sangramento? O fluxo é arterial ou

28 Ou para baixo, como nas luzes dos elevadores que indicam direção. Nossos ancestrais arbóreos tinham de ter muito cuidado com o que havia embaixo.

venoso? É indicado o uso de torniquete? Essas são, todas elas, funções analíticas do hemisfério esquerdo. Elas exigem processos cognitivos analíticos e mais complexos do que a simples associação: sangue é igual a dor. E elas são muito mais práticas. Se eu fosse ferido, preferiria estar com um médico competente, que através de longa experiência se tivesse tornado quase completamente habituado a hemorragias, do que com um amigo muito solidário que desmaiasse ao menor sinal de sangue. Este último pode ser altamente motivado a não ferir outra pessoa, mas o primeiro será capaz de prestar alguma ajuda, caso ocorra um ferimento. Em uma espécie estruturada sobre bases ideais, essas duas atitudes bastante diferentes estariam presentes simultaneamente no mesmo indivíduo. Em muitos de nós, foi isso mesmo que aconteceu. Os dois modos de pensar possuem complexidade muito diversa, mas têm valor complementar de sobrevivência.

Um exemplo típico da eventual resistência reunida pelo pensamento intuitivo contra as conclusões evidentes do pensamento analítico é a opinião de D. H. Lawrence a respeito da natureza da Lua: **"Não adianta me dizer que se trata de uma rocha sem vida no céu! Eu *sei* que não é"**. De fato, a Lua é mais que uma rocha morta no céu. É bonita, tem associações românticas, levanta as marés, pode até ser, em última análise, o motivo da cronologia do ciclo menstrual humano. Mas certamente um de seus atributos é o de ser uma rocha morta no céu. O pensamento intuitivo se sai bastante bem nas áreas em que tivemos experiência pessoal ou evolutiva prévia. Mas nas áreas novas — tal como a natureza dos objetos celestes mais próximos — o raciocínio intuitivo deve ficar muito tímido em suas afirmações e ansioso por acomodar-se aos horizontes que o pensamento racional extrai da natureza. E, a propósito, os processos do pensamento racional não representam fins em si mesmos, mas devem ser percebidos no contexto mais amplo da prosperidade humana; a natureza e a direção dos esforços racionais e analíticos devem ser determinadas em grande parte por suas implicações humanas fundamentais, como demonstra o pensamento intuitivo.

De certa forma, a ciência pode ser descrita como o pensamento paranoide aplicado à natureza: buscamos as conspirações naturais, as conexões entre dados aparentemente díspares. Nosso objetivo é abstrair padrões da natureza (pensamento do hemisfério direito), mas muitos padrões propostos de fato não correspondem aos dados. Por conseguinte, todos os padrões propostos devem ser submetidos ao crivo da análise crítica (pensamento do hemisfério esquerdo). A busca de padrões sem a análise crítica e o ceticismo rígido sem a busca de padrões constituem os antípodas da ciência incompleta. A perseguição efetiva do conhecimento requer ambas as funções.

O cálculo, a física newtoniana e a óptica geométrica derivaram todos dos argumentos fundamentalmente geométricos e são hoje ensinados e demonstrados em sua maior parte por argumentos analíticos: criar a matemática e a física representa mais uma função do hemisfério direito do que ensiná-la. Isso também é comum hoje. As maiores perspectivas científicas são caracteristicamente intuitivas, e são também caracteristicamente descritas nos artigos científicos por argumentos

analíticos lineares. Não existe qualquer anomalia nisso: ao contrário, é como deve ser. Os principais componentes do ato criativo são do hemisfério direito. Mas os pensamentos sobre a validade do resultado são principalmente do hemisfério esquerdo.

Foi uma descoberta luminosa de Albert Einstein, fundamental para a Teoria da Relatividade Geral, que a gravitação pudesse ser compreendida igualando o tensor contraído de Riemann-Christoffel a zero. Mas essa questão foi aceita somente porque era possível deduzir pormenorizadamente as consequências matemáticas da equação, verificar onde ela fazia previsões diferentes das da gravitação newtoniana, e depois passar a experimentar a fim de observar qual dos caminhos a natureza escolhe. Em três notáveis experiências — a deflexão da luz das estrelas ao passar perto do Sol; o movimento da órbita de Mercúrio, o planeta mais próximo do Sol, e a mudança para o vermelho das linhas espectrais em um forte campo gravitacional estelar —, a natureza votou em Einstein. Contudo, sem essas verificações experimentais, muito poucos físicos teriam aceito a relatividade geral. Existem muitas hipóteses na física de brilho e elegância comparáveis, mas que foram rejeitadas por não resistirem a um confronto experimental. No meu ponto de vista, a condição do homem seria grandemente beneficiada se tais confrontações e a disposição de rejeitar hipóteses fizessem parte de nossas vidas social, política, econômica, religiosa e cultural.

Desconheço qualquer progresso científico que não tenha exigido contribuições primordiais de ambos os hemisférios cerebrais. Isso não vale para o caso da arte, em que aparentemente não existem experiências pelas quais observadores capazes, dedicados e imparciais possam determinar para sua satisfação mútua quais os melhores trabalhos. Entre centenas de exemplos, devo frisar que os principais críticos de arte franceses, os jornais e museus do final do século XIX e início do século XX rejeitaram o impressionismo francês *in totum*; hoje, os mesmos artistas são altamente considerados pelas mesmas instituições por terem executado obras de arte. Talvez daqui a um século o pêndulo reverta a direção novamente.

Este livro em si representa um exercício de reconhecimento de padrão, uma tentativa de compreender algo da natureza e da evolução da inteligência humana, usando pistas de uma ampla variedade de ciências e mitos. É em grande parte atividade do hemisfério direito; e durante a elaboração deste livro eu acordava repetidamente no meio da noite ou nas primeiras horas da manhã pela suave satisfação de uma nova perspectiva. Mas se as perspectivas são genuínas ou não — espero que muitas delas necessitem de considerável revisão — depende do desempenho do meu hemisfério esquerdo (e também da medida em que eu retive certos pontos de vista porque não tenho consciência de suas contradições). Ao escrever este livro, sofri repetidas vezes o impacto de sua existência como um metaexemplo: em concepção e em execução, ele ilustra seu próprio conteúdo.

No século XVII havia duas formas bastante distintas de descrever a ligação entre quantidades matemáticas: você podia escrever uma equação algébrica ou

desenhar uma curva. René Descartes revelou a identidade formal desses dois aspectos do mundo matemático quando concebeu a geometria analítica, através da qual as equações algébricas podem ser colocadas em gráfico. (A propósito, Descartes também era um anatomista, preocupado em localizar as funções do cérebro.) A geometria analítica é um lugar-comum no colégio, mas representou uma brilhante descoberta do século XVII. Entretanto, uma equação algébrica é uma construção arquetípica do hemisfério esquerdo, enquanto uma curva geométrica regular, o padrão em um conjunto de pontos relacionados, é uma produção característica do hemisfério direito. De certa forma, a geometria analítica é o corpo caloso da matemática. Hoje, uma série de doutrinas encontra-se ou em conflito ou destituída de interação mútua. Em alguns casos importantes, são pontos de vista do hemisfério esquerdo versus hemisfério direito. A ligação cartesiana de doutrinas aparentemente independentes ou antitéticas é seriamente necessária mais uma vez.

Acho que as atividades criativas mais importantes de nossa e de qualquer outra cultura humana — sistemas legais e éticos, arte e música, ciências e tecnologia — foram possíveis somente através do trabalho de colaboração dos hemisférios cerebrais esquerdo e direito. Esses atos criativos, mesmo que raros e limitados a algumas pessoas, nos transformaram e transformaram o mundo. Podemos dizer que a cultura humana é função do corpo caloso.

VIII A futura evolução do cérebro

> É típico do futuro ser perigoso... Os principais avanços da civilização são processos, todos eles, que destroem as sociedades em que ocorrem.
>
> Alfred North Whitehead
> *Adventures in ideas*

> A voz do intelecto é suave, mas não descansa até ter ganho um ouvinte. Em última análise, após inumeráveis derrotas, ela vence. Este é um dos poucos pontos em relação aos quais podemos ser otimistas no tocante ao futuro da humanidade.
>
> Sigmund Freud
> *O futuro de uma ilusão*

> O espírito de um homem é capaz de tudo – porque tudo está nele, todo o passado e todo o futuro.
>
> Joseph Conrad
> *Heart of darkness*

O cérebro humano parece permanecer em inquieta trégua, com eventuais escaramuças e raras batalhas. A existência de componentes cerebrais com predisposição a certos comportamentos não representa um convite ao fatalismo ou ao desespero; temos considerável controle sobre a importância relativa de cada componente. A anatomia não quer dizer destino, mas também não é irrelevante. Pelo menos algumas doenças mentais podem ser compreendidas em termos de um conflito entre facções neurais em disputa. A repressão mútua entre os componentes se dá em muitas direções. Já abordamos a repressão límbica e neocortical do complexo-R, mas, através da sociedade, pode também haver repressão do complexo-R pelo neocórtex e repressão de um hemisfério pelo outro.

Em geral, as sociedades humanas não são dadas a inovações. São hierárquicas e ritualísticas. Sugestões de mudanças são recebidas com suspeita: implicam uma desagradável variação futura do ritual e da hierarquia: a troca de um conjunto de rituais por outro, ou talvez por uma sociedade menos estruturada, com menos rituais. Mas, mesmo assim, às vezes a sociedade precisa modificar-se. **"Os dogmas do silencioso passado já não convêm ao tempestuoso presente"** — era assim que Abraham Lincoln expressava essa verdade. Grande parte das dificuldades encontradas ao se tentar reestruturar a sociedade americana e outras sociedades advém da resistência oferecida por grupos com interesse no status quo. É possível que mudanças importantes façam descer muitos degraus aqueles que agora ocupam elevadas posições hierárquicas. Isso parece indesejável, e a resistência sobrevém.

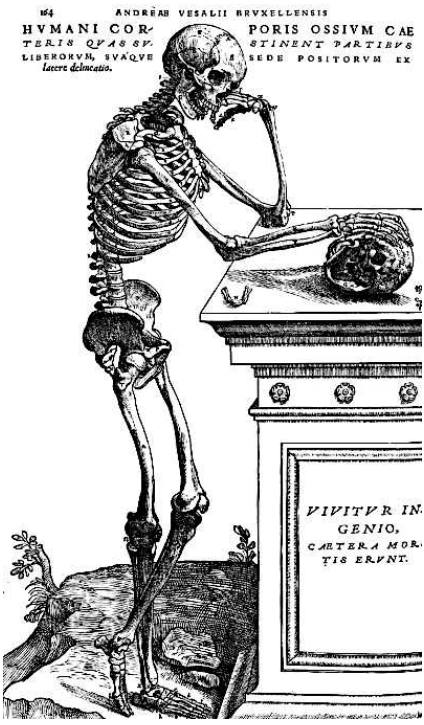
Contudo, percebe-se certa modificação (e eu diria até uma modificação considerável) na sociedade ocidental — não o suficiente, é claro, porém muito mais do que em quase todas as outras sociedades. As culturas mais antigas e mais estáticas oferecem muito mais resistência a transformações. No livro *The Forest People*, de Colin Turnbull, há uma pungente descrição de uma menina pigmeia aleijada que foi

presenteada por antropólogos visitantes com uma fabulosa novidade tecnológica, uma muleta. Apesar de ter aliviado sobremaneira o sofrimento da menina, os adultos, inclusive seus pais, não mostraram o menor interesse pelo invento[29]. Existem muitos outros casos de intolerância a novidades nas sociedades tradicionais; e diversos exemplos pertinentes poderiam ser extraídos das vidas de homens como Leonardo da Vinci, Galileu, Desiderius Erasmus, Charles Darwin ou Sigmund Freud.

O tradicionalismo de sociedades em estado estático geralmente é adaptativo: as formas culturais têm evoluído penosamente no decorrer de muitas gerações e reconhecidamente servem bem. À semelhança das mutações, qualquer mudança aleatória tende a servir menos. Mas, também como as mutações, as mudanças são necessárias caso se queira atingir uma adaptação a novas circunstâncias ambientais. A tensão entre essas duas tendências caracteriza grande parte do conflito político de nossa era. Em uma época marcada por um ambiente social e físico externo rapidamente mutável — como é a nossa —, a acomodação à mudança e sua aceitação são adaptativas; nas sociedades dominadas pelos ambientes estáticos, isso não ocorre. Os estilos de vida caçador-coletor serviram bem ao homem na maior parte de sua história, e eu acho que há indícios insofismáveis de que, de certa forma, fomos moldados pela evolução para tal cultura; quando abandonamos a vida de caçador-coletor, abandonamos também a infância de nossa espécie. Culturas à base de caça e coleta, ou de elevada tecnologia, são produtos do neocórtex. Estamos agora irreversivelmente encaminhados para a última trilha. Mas vai levar algum tempo até nos acostumarmos a isso.

Caçadores do Kalahari. Esse estilo de vida, que foi característico de nossa espécie durante milhões de anos, agora está quase extinto.

29 Em defesa dos pigmeus, talvez eu deva observar que um amigo meu que passou certo tempo entre eles diz que para atividades tais como a paciente espreita e a caçada de mamíferos e peixes eles se preparam através da intoxicação pela maconha, que ajuda a tornar a longa espera enfadonha para qualquer ser mais evoluído que o dragão-de-komodo, pelo menos um pouco mais tolerável. A ganja é, diz ele, seu único produto agrícola. Seria altamente interessante se, na história da humanidade, o cultivo da maconha levasse à invenção da agricultura e assim à civilização. (O pigmeu intoxicado por maconha, pacientemente imóvel durante uma hora com a lança em riste para pescar, é caricaturado pelos caçadores brancos empanzinados de cerveja, protetoramente camuflados em xadrez vermelho, que, tropeçando pelas matas próximas, aterrorizam os subúrbios americanos a cada Dia de Ação de Graças.)



O homem pondera sobre si mesmo. De autoria de Vesalius, o criador da anatomia moderna.

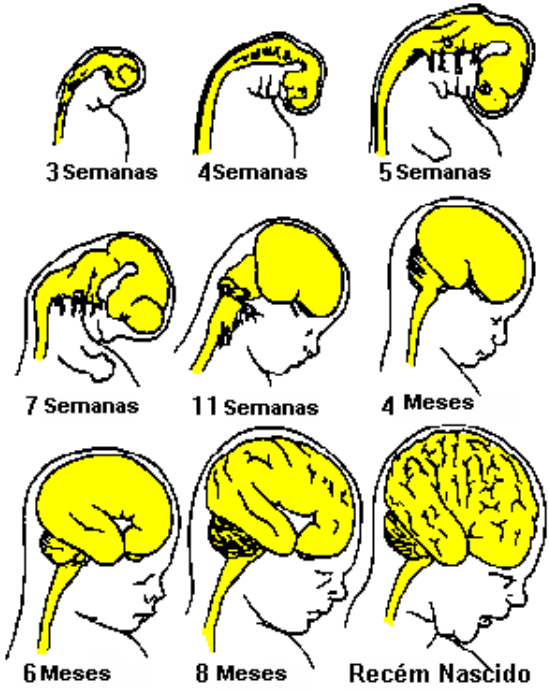
A Grã-Bretanha produziu uma série de cientistas e estudiosos multidisciplinares admiravelmente dotados que são por vezes classificados como polímatas. Esse grupo abrange, nos últimos tempos, Bertrand Russell, A. N. Whitehead, J. B. S. Haldane, J. D. Bernal e Jacob Bronowski. Russell comentou que o desenvolvimento de indivíduos assim dotados exigiu uma infância na qual havia pouca ou nenhuma pressão para a submissão, uma época na qual a criança podia desenvolver e perseguir seus próprios interesses, não importa quão insólitos ou bizarros fossem. Em virtude de fortes pressões para a submissão social, tanto por parte do governo quanto por grupos minoritários nos Estados Unidos — e até mais na União Soviética, no Japão e na República Popular da China —, penso que esses países estão produzindo proporcionalmente menos polímatas. Acho também que existem indícios de que a Grã-Bretanha se encontra em franco declínio quanto a esse aspecto.

Principalmente hoje, quando o homem se depara com problemas tão complexos e difíceis, o desenvolvimento de um pensamento abrangente e poderoso constitui uma necessidade desesperada. Deve haver um meio, compatível com os ideais democráticos apoiados por todos esses países, de estimular, em um contexto humanitário e carinhoso, o desenvolvimento intelectual de jovens especialmente promissores. Em vez disso, encontramos nos sistemas de instrução e exame da maioria desses países uma ritualização quase reptiliana do processo educativo. Eu às vezes me pergunto se o apelo ao sexo e à agressão na televisão e nos filmes contemporâneos não reflete o fato de que o complexo-R é bem desenvolvido em todos nós, enquanto muitas funções neocorticais são, em parte pelo caráter repressivo das escolas e das sociedades, mais raramente expressas, menos comuns e insuficientemente valorizadas.

Como consequência das imensas transformações sociais e tecnológicas dos últimos séculos, o mundo não anda funcionando bem. Não vivemos em sociedades tradicionais e estáticas. Não obstante, nossos governos, resistindo às transformações, agem como se assim vivêssemos. A menos que nos destruamos completamente, o futuro pertence às sociedades que, não ignorando as partes reptilianas e mamíferas de nosso ser, permitam o florescimento dos componentes caracteristicamente humanos de nossa natureza; às sociedades que incentivem a diversidade e não a submissão; às sociedades sequiosas por investir recursos em uma série de experiências sociais, políticas, econômicas e culturais e preparadas para sacrificar

as vantagens a curto prazo pelo benefício a longo prazo; às sociedades que tratem as novas ideias como caminhos delicados, frágeis e imensamente valiosos para o futuro.

Uma melhor compreensão do cérebro pode também um dia repousar sobre temas tão controvertidos quanto a definição de morte e a aceitação do aborto. A moral do Ocidente parece ser a de que é permissível, por uma boa causa, matar primatas não-humanos e certamente outros mamíferos; mas não é permissível (aos indivíduos) matar seres humanos sob circunstâncias semelhantes. A implicação lógica é que são as qualidades caracteristicamente humanas que fazem a diferença. Da mesma forma, se consideráveis partes do neocórtex estão funcionando, o paciente comatoso pode ser considerado vivo no sentido humano, mesmo que haja prejuízo maior das outras funções físicas e neurológicas. Por outro lado, um paciente vivo, mas sem qualquer sinal de atividade neocortical (inclusive as atividades neocorticais durante o sono), pode ser descrito, no sentido humano, como morto. Em muitos desses casos, o neocórtex interrompeu sua atividade irreversivelmente, mas o sistema límbico, o complexo-R e estruturas inferiores do tronco cerebral ainda estão funcionando, não sendo prejudicadas as funções fundamentais, quais sejam a respiração e a circulação sanguínea. Penso que seja necessário mais estudo a respeito da fisiologia do cérebro humano até que uma definição legal bem-fundamentada de morte possa ser amplamente aceita. O caminho para tal definição provavelmente nos impelirá através de considerações sobre o neocórtex em contraposição aos outros componentes do cérebro. Semelhantes ideias poderiam ajudar a resolver um grande debate sobre o aborto surgido nos Estados Unidos no final da década de 70 — uma controvérsia caracterizada em ambos os lados por extrema veemência e uma negação de qualquer mérito aos pontos de vista opostos. Em um dos extremos encontra-se a posição de que a mulher tem o direito inato do "comando de seu próprio corpo", que abrange, afirma-se, a morte de um feto sob diversas alegações, inclusive a falta de inclinação psicológica e a incapacidade econômica de criar um filho. No outro extremo está a existência de um "direito à vida", a afirmação de que matar,



Desenvolvimento embrionário do cérebro humano. O cérebro até sete semanas mostra notável semelhança com o cérebro de peixes e anfíbios.

mesmo que seja um zigoto, o óvulo fertilizado antes da primeira divisão embrionária, é assassinato porque o zigoto tem o "potencial" de se tornar um ser humano. Eu concordo que, em um tema tão carregado de emoção, qualquer proposta não receba os aplausos dos partidários de ambos os extremos, e às vezes nossos corações e mentes nos levam a conclusões diferentes. No entanto, à luz de alguns conceitos expostos em capítulos anteriores, gostaria de oferecer pelo menos uma tentativa de solução razoável.

Não há dúvida de que o aborto legalizado evita a tragédia e a carnificina do aborto ilegal e incompetente, e que, em uma civilização cuja própria perpetuação está ameaçada pelo espectro do crescimento populacional desenfreado, a ampla disponibilidade de abortos médicos pode responder a uma necessidade social importante. O infanticídio, porém, resolveria ambos os problemas e tem sido largamente utilizado por muitas comunidades humanas, inclusive segmentos da clássica civilização grega, tão aceita como nosso antecedente cultural. Continua sendo praticado hoje em dia: em muitas partes do mundo, um em cada quatro recém-nascidos não sobrevive ao primeiro ano de vida. Contudo, de acordo com nossas leis e costumes, o infanticídio é crime. Considerando-se que uma criança nascida prematuramente no sétimo mês de gestação não difere basicamente de um feto *in utero* no sétimo mês, parece-me que o aborto, pelo menos no último trimestre, em muito se aproxima do assassinato. As alegações de que o feto no terceiro trimestre ainda não está respirando me causam espécie: será permissível cometer infanticídio após o nascimento se o cordão umbilical ainda não foi seccionado, ou se a criança ainda não respirou? Da mesma forma, se sou psicologicamente despreparado para conviver com um estranho — no acampamento do exército ou no dormitório do colégio —, não tenho por conseguinte o direito de matá-lo, e meu aborrecimento pelo uso dos impostos que pago não me reserva o direito de exterminar os recebedores desses impostos. O ponto de vista das liberdades civis é frequentemente alegado em tais questões. Por que, indaga-se às vezes, as crenças dos outros sobre esse assunto devem estender-se a mim? Mas aqueles que não apoiam pessoalmente a proibição convencional contra o crime são enquadrados por nossa sociedade no código criminal.

No extremo oposto da discussão, a expressão "direito à vida" constitui excelente exemplo de expressão de efeito, destinada a inflamar e não a iluminar. Não existe direito à vida em nenhuma sociedade da Terra atualmente, e nunca houve em tempo algum (com algumas raras exceções, como os jainistas, da Índia). Criamos animais em fazendas para devorá-los, destruímos florestas, poluímos rios e lagos até que os peixes lá não possam viver, caçamos antílopes e cervos por esporte, leopardos para lhes tirar o couro e baleias para fazer comida de cachorro; capturamos golfinhos, arfando e gemendo, em grandes redes e matamos a estocadas os filhotes de foca para "controle populacional". Todos esses animais e vegetais são tão vivos quanto nós. O que se protege em algumas sociedades humanas não é a vida em si, mas a vida humana. Mesmo com essa proteção, porém, nós encaramos os efeitos das guerras "modernas" sobre as populações civis

como um tributo tão terrível que temos medo, a maioria de nós, de pensar nisso de modo mais profundo. Frequentemente tais assassinatos em massa são justificados por redefinições raciais ou nacionalistas de nossos adversários como a eliminação de seres menos que humanos.

Da mesma forma, o argumento do "potencial" de se tornar humano parece-me particularmente fraco. Qualquer óvulo humano ou esperma, sob circunstâncias adequadas, tem o potencial de se tornar humano. Contudo, a masturbação masculina e as poluções noturnas são em geral consideradas atos naturais, não estando sujeitas a punição criminal. Em uma única ejaculação são lançados espermatozoides em número suficiente para gerar centenas de milhões de seres humanos. Além disso, é possível que, em futuro não muito remoto, sejamos capazes de fazer um clone de um ser humano integral a partir de uma única célula retirada de qualquer parte do corpo do doador. Nesse caso, qualquer célula de meu corpo tem a potencialidade de se tornar um ser humano se adequadamente preservada até a ocasião da tecnologia prática de clones. Estarei cometendo assassinato em massa se machucar meu dedo e perder uma gota de sangue?

Os temas são inquestionavelmente complexos. É lógico que a solução deve envolver um consenso entre numerosos valores importantes, mas conflitantes. A questão prática fundamental é determinar quando o feto se torna humano. Isso, por sua vez, depende do que consideramos humano. Certamente que não é ter a forma humana, porque um artefato de matéria orgânica que se assemelhasse a um ser humano, embora construído com essa finalidade, certamente não seria considerado humano. Da mesma forma, um ser extraterrestre inteligente que não se assemelhasse a um ser humano, mas que possuísse atributos éticos, intelectuais e artísticos superiores aos nossos certamente estaria protegido pela proibição do assassinato. Não é nosso aspecto que especifica o que é a humanidade, mas aquilo que somos. O motivo pelo qual o assassinato de seres humanos é proibido deve repousar em alguma qualidade humana, uma qualidade que prezamos em particular, que poucos ou nenhum outro organismo da Terra possuem. Não pode ser a capacidade de sentir dor ou emoções profundas, pois estas certamente são comuns a muitos dos animais que deliberadamente dilaceramos.

Essa qualidade essencialmente humana, creio, só pode ser nossa inteligência. Nesse caso, a particular santidade da vida pode ser identificada com o desenvolvimento e o funcionamento do neocórtex. Não podemos exigir seu desenvolvimento integral, pois isso só ocorre muitos anos após o nascimento. Mas talvez possamos estabelecer a transição para a humanidade na ocasião em que se inicia a atividade neocortical, determinada pelo eletrencefalograma do feto. Algumas perspectivas da época na qual o cérebro desenvolve um caráter distintamente humano surgem a partir das observações embriológicas mais simples. Muito pouco trabalho foi realizado neste campo até o momento, e me parece que tal investigação em muito contribuiria para se atingir um acordo aceitável no debate sobre o aborto. Não há dúvida de que haveria uma variação de feto a feto quanto à ocasião de início dos primeiros sinais neocorticais ao EEG, e uma definição legal do início da vida

caracteristicamente humana deve ser estipulada de modo conservador — ou seja, de acordo com o feto mais jovem que exibe tal atividade. Talvez a transição coincidisse com o final do primeiro trimestre ou o início do segundo trimestre da gestação. (Aqui estamos falando do que, em uma sociedade racional, deve ser proibido por lei; qualquer pessoa que considere o aborto de um feto mais jovem como crime não deve ser obrigada a realizar ou aceitar tal ato.)

Uma aplicação coerente dessas ideias deve, contudo, evitar o chauvinismo humano. Se existem outros organismos que compartilham da inteligência de um ser humano um tanto retardado, mas completamente desenvolvido, devem pelo menos receber a mesma proteção contra o assassinato que nós pretendemos estender aos seres humanos no final de sua vida intra-uterina. Uma vez que os indícios da inteligência nos golfinhos, nas baleias e nos antropoides são agora pelo menos convincentes, qualquer posição moral coerente a respeito do aborto deve, segundo minha opinião, abranger firmes críticas contra o massacre gratuito desses animais. Mas a chave definitiva para a solução da controvérsia sobre o aborto seria a pesquisa da atividade neocortical antes do parto.

Que dizer da evolução futura do cérebro humano? Existe um conjunto amplo e crescente de indícios de que muitas formas de doença mental resultam de disfunções químicas ou das ligações no cérebro. Como muitas doenças mentais possuem os mesmos sintomas, podem ter origem nas mesmas disfunções e devem ser suscetíveis aos mesmos tratamentos.

O neurologista inglês Hughlings Jackson, um pioneiro do século XIX, observou: **"Conhece os sonhos e conhecerás a insanidade"**. Os indivíduos intensamente privados de sonhos frequentemente têm alucinações durante o dia. A esquizofrenia também se acompanha amiúde de distúrbios do sono noturno, porém não se sabe se isso representa causa ou consequência. Um dos aspectos mais notáveis da esquizofrenia é o estado de infelicidade e desespero em que geralmente vivem os que dela sofrem. Seria a esquizofrenia o que ocorre quando os dragões não mais se encontram acorrentados à noite, quando rompem os grilhões do hemisfério esquerdo e eclodem à luz do dia? Outras doenças talvez resultem de um distúrbio de função do hemisfério direito: os obsessivo-compulsivos, por exemplo, muito raramente apresentam repentes intuitivos.

Em meados da década de 60, Lester Grinspoon e seus colaboradores, na Faculdade de Medicina de Harvard, realizaram uma série de experiências controladas sobre o valor relativo das diversas técnicas terapêuticas para o tratamento da esquizofrenia. Eles são psiquiatras, e, se tivessem alguma tendência, essa seria na direção das técnicas verbais, e não das farmacológicas. Contudo, para sua surpresa, descobriram que a tioridazina (um dos medicamentos de um grupo de drogas antipsicóticas de eficácia aproximadamente igual, conhecido como fenotiazinas), um tranquilizante recentemente criado, era incomparavelmente mais eficaz no controle, se não na cura da doença; na realidade, descobriram que a tioridazina pura era pelo menos tão eficaz — no consenso dos pacientes, de seus parentes e

dos psiquiatras — quanto a tioridazina aliada à psicoterapia. A integridade dos experimentadores em face desse inesperado resultado é de pasmar. (É difícil conceber qualquer experiência que convencesse os partidários de diversas filosofias políticas ou religiosas da superioridade de uma doutrina antagônica.)

Pesquisas recentes mostram que endorfinas, pequenas moléculas proteicas naturais dos cérebros de ratos e outros mamíferos, podem provocar nesses animais acentuada rigidez muscular e estupor que lembram a catatonia esquizofrênica. A causa molecular ou neurológica da esquizofrenia — outrora responsável por um em cada três leitos hospitalares ocupados nos Estados Unidos – ainda é desconhecida; mas não é pouco plausivel que algum dia cheguemos a descobrir precisamente o local ou o conjunto de produtos neuroquímicos no cérebro que determinam essa disfunção.

Uma curiosa questão ética surge com as experiências de Grinspoon e colaboradores. Os tranquilizantes agora são tão eficazes no tratamento da esquizofrenia que é amplamente antiético privar o paciente desses medicamentos. A implicação é que as experiências que demonstram a eficácia dos tranquilizantes não podem ser repetidas. É considerada uma crueldade desnecessária negar ao paciente o melhor tratamento disponível para sua doença. Consequentemente, não se pode mais manter um grupo de controle de esquizofrênicos sem medicação tranquilizante. Se experiências críticas na quimioterapia das disfunções cerebrais só podem ser realizadas uma vez, elas têm de ser realmente muito bem feitas.

Um exemplo ainda mais marcante de tal quimioterapia é o uso de carbonato de lítio no tratamento dos maníacos-depressivos. A ingestão de doses cuidadosamente controladas de lítio, o metal mais leve e mais simples, produz surpreendentes melhoras — novamente conforme a perspectiva dos pacientes e de outros — nessa terrível doença. O motivo pelo qual um tratamento tão simples é tão benéfico, mais provavelmente, relaciona-se à química enzimática do cérebro.

Uma doença mental muito estranha é a doença de Gilles de la Tourette (assim denominada, como sempre, em homenagem ao médico que primeiramente a descreveu, e não ao portador mais célebre do mal). Um dos muitos distúrbios motores e da fala que se encontram entre os sintomas dessa doença é uma notável compulsão a proferir — no idioma em que o paciente tem maior fluência — uma ininterrupta sequência de obscenidades e impropérios. Os médicos descrevem a identificação dessa doença como um "diagnóstico de corredor". O paciente pode controlar-se com grande dificuldade no decorrer de uma curta visita médica; assim que o médico sai do quarto e chega ao corredor, a escatologia desaba como a inundação de uma represa rompida. Existe um lugar no cérebro que forma os "palavrões" (e os antropoides podem possuí-lo).

São muito poucas as palavras que o hemisfério direito pode comandar convenientemente — não mais do que "olá", "até logo" e... algumas obscenidades selecionadas. Talvez a doença de Tourette comprometa apenas o hemisfério esquerdo. O antropólogo inglês Bernard Campbell, da Universidade de Cambridge, sugere que

o sistema límbico é muito bem integrado com o hemisfério cerebral direito, o qual, como já vimos, lida melhor com as emoções que o hemisfério esquerdo. Não importa que outras partes estejam comprometidas, as obscenidades levam consigo grande carga emocional. Contudo, a doença de Gilles de la Tourette, complexa como é, parece uma deficiência específica de um transmissor neuroquímico e é aliviada por doses cuidadosamente controladas de haloperidol.

Indícios recentes mostram que hormônios límbicos tais como o HACT e a vasopressina são capazes de melhorar enormemente a capacidade dos animais de reter a memória e relembrar. Esses exemplos e outros semelhantes sugerem, se não a perfeição definitiva do cérebro, pelo menos previsões de substancial melhora — talvez alterando a abundância ou controlando a produção de pequenas proteínas cerebrais. Tais exemplos também aliviam sobremaneira a carga de culpa habitualmente experimentada pelos que sofrem de doença mental, carga essa raramente sentida por vítimas de outras doenças, como o sarampo, por exemplo.

A notável fissurização, as circunvoluções e as dobras corticais do cérebro, assim como o fato de que o cérebro se adapta harmoniosamente ao crânio, constituem claras indicações de quão difícil será acrescentar mais massa cerebral à caixa craniana atual. Cérebros maiores com crânios maiores não poderiam ter-se desenvolvido até muito pouco tempo atrás em virtude dos limites impostos pelo tamanho da pelve e do canal de parto. O advento, porém, do parto cesáreo — raramente realizado há 2 000 anos e muito mais frequente hoje em dia — permite, com efeito, maiores volumes cerebrais. Outra possibilidade é a tecnologia médica suficientemente adiantada para permitir o desenvolvimento a termo de um feto fora do útero. Entretanto, a velocidade da transformação evolutiva é tão lenta que nenhum dos problemas que nos assolam hoje seria superado por aumentos neocorticais importantes e consequentes inteligências superiores. Antes disso, mas não em futuro imediato, é possível que a cirurgia seja capaz de melhorar os componentes do cérebro que consideramos valiosos e inibir ainda mais os componentes que podem ser responsáveis por perigos e contradições que pairam sobre a humanidade. Contudo, a complexidade e a redundância da função cerebral tornam impraticável tal sequência de eventos para o futuro próximo, mesmo que isso fosse socialmente desejável. Será mais fácil para o homem construir genes que construir cérebros.

Comenta-se às vezes que essas experiências podem dotar governos inescrupulosos — e existem muitos deles — com armas capazes de controlar seus cidadãos ainda mais. Podemos imaginar, por exemplo, um governo que implante centenas de minúsculos eletrodos nos centros do "prazer" e da "dor" dos cérebros de recém-nascidos, eletrodos esses capazes de estimulação por controle remoto — talvez em frequências ou códigos de acesso conhecidos apenas pelo governo. Quando a criança estiver crescida, o governo pode estimular seus centros de prazer caso tenha realizado, tanto em trabalho como em ideologia, uma aceitável jornada diária; em caso contrário, poderá estimular seus centros de dor. Essa é uma visão de pesadelo, mas não considero que represente um argumento contra experiências a respeito da estimulação elétrica do cérebro. É, em vez disso, um argumento contra a

permissão de que o governo controle os hospitais. Qualquer povo que permitir que seu governo implante tais eletrodos já terá perdido a batalha e bem merecerá o que daí surgir. Como em todos os pesadelos tecnológicos, a principal tarefa consiste em prever o que é possível; educar o público quanto ao uso correto e errôneo; e prevenir os abusos oriundos da organização, da burocracia e do governo.

Já existe uma série de psicotrópicos e drogas que alteram o humor e que, em diferentes graus, são perigosos ou benignos (o álcool etílico é o mais amplamente usado e um dos mais perigosos). Aparentemente, atuam em áreas específicas do complexo-R, do sistema límbico e do neocórtex. Se a tendência atual persistir, mesmo sem o incentivo dos governos, as pessoas buscarão a síntese laboratorial caseira e a auto-experiência com essas drogas — uma atividade que representa um pequeno novo passo em direção ao nosso conhecimento do cérebro, seus distúrbios e seus potenciais ocultos.

Há motivos para pensar que muitos alcaloides e outras drogas que afetam o comportamento funcionam por serem quimicamente semelhantes às pequenas proteínas cerebrais naturais, das quais as endorfinas constituem um exemplo. Muitas dessas pequenas proteínas agem sobre o sistema límbico e se relacionam com nossos estados emocionais. Agora é possível manufaturar pequenas proteínas constituídas por qualquer sequência específica de aminoácidos. Portanto, em futuro próximo, será sintetizada grande variedade de moléculas capazes de provocar os estados emocionais humanos, inclusive os muito raros. Existem, por exemplo, indícios de que a atropina — um dos componentes mais ativos da cicuta, do digital, da beladona e do estramônio (figueira-do-inferno) — provoca a ilusão de voar; e efetivamente essas plantas parecem conter os principais constituintes de unguentos auto-administrados à mucosa genital por bruxas da Idade Média — as quais, em vez de voarem realmente, como se vangloriavam, faziam uma *viagem* de atropina. Entretanto, uma vívida alucinação de vôo é uma sensação demasiado específica para ser transmitida por uma molécula relativamente simples. Talvez exista uma variedade de pequenas proteínas que serão sintetizadas e que produzirão estados emocionais de uma espécie jamais experimentada pelos seres humanos. Esse é um dos muitos progressos potenciais a curto prazo na química cerebral que prometem grandes efeitos para o bem ou para o mal, de acordo com o critério daqueles que conduzem, controlam e aplicam essa pesquisa.

Quando deixo meu escritório e entro no meu carro, a menos que faça um esforço de vontade, dirijo-me para casa. Quando saio de casa e entro no carro, a menos que faça semelhante esforço consciente, há uma parte de meu cérebro que engendra as coisas de tal forma que acabo chegando ao escritório. Se eu mudar de casa ou de escritório, após um curto período de aprendizado, os novos locais suplantam os antigos e, seja qual for o mecanismo cerebral que comanda tal comportamento, esse se adapta prontamente às novas coordenadas. Isso em muito se assemelha à autoprogramação de uma parte do cérebro que funciona como um computador digital. A comparação é ainda mais surpreendente quando nos damos conta de que os epilépticos, durante uma convulsão psicomotora, frequentemente

realizam uma sequência de atos exatamente iguais, com a única diferença de talvez ultrapassarem mais sinais vermelhos do que eu habitualmente ultrapasso, mas não têm memória consciente de terem praticado essas ações uma vez cessada a crise convulsiva. Esse automatismo é um sintoma típico da epilepsia com foco no lobo temporal; também caracteriza a primeira hora depois que eu acordo. Certamente, nem todo o cérebro funciona como um computador digital simples; a parte que faz a reprogramação, por exemplo, é bastante diferente. Mas existem semelhanças suficientes para sugerir que se pode organizar, de forma construtiva, uma disposição de trabalho compatível entre computadores eletrônicos e pelo menos alguns componentes do cérebro — em íntima associação neurofisiológica.

O neurofisiologista espanhol José Delgado inventou circuitos que operam por controle remoto através de interação entre eletrodos implantados nos cérebros de chimpanzés e computadores eletrônicos. A comunicação entre o cérebro e o computador é obtida através do rádio. A miniaturização dos computadores eletrônicos atingiu agora uma fase tal que esses circuitos podem ser "compactados" e não exigir uma ligação pelo rádio com um remoto terminal de computador. Por exemplo, é inteiramente possível projetar um circuito auto-suficiente no qual os sinais de convulsão epiléptica iminente sejam reconhecidos e os centros cerebrais implicados sejam automaticamente estimulados a fim de deter ou atenuar o ataque. Ainda não podemos utilizar esse procedimento com segurança, mas isso não tardará muito.

Talvez algum dia seja possível acrescentar uma série de próteses cognitivas e intelectuais ao cérebro — uma espécie de óculos para a mente. lsso obedeceria ao espírito da evolução auditiva e é provavelmente muito mais exequível do que tentar reestruturar o cérebro existente. Talvez um dia implantemos cirurgicamente em nossos cérebros pequenos nódulos substituíveis de computador ou terminais de rádio que nos proporcionem rápido e fluente conhecimento do basco, do urdu, do amárico, do aino, do albanês, do *nu*, do *hopi*, do *kung* ou do delfinês; ou valores numéricos da função gama incompleta e dos polinômios de Tchebichev; ou da história natural do faro dos animais; ou todos os requisitos legais para a posse de ilhas flutuantes; ou a telepatia pelo rádio conectando diversos seres humanos, pelo menos temporariamente, em uma espécie de associação simbiótica anteriormente desconhecida de nossa espécie.

Mas as ampliações reais de nossos cérebros, sobretudo em relação aos aspectos exclusivamente humanos do neocórtex, já estão em via de ser consumadas. Algumas delas são tão antigas que nos esquecemos de usá-las. Os ambientes didáticos ricos e sem repressão para as crianças representam uma arma educativa notavelmente promissora e bem-sucedida. A linguagem escrita é uma fabulosa invenção que consiste essencialmente em uma máquina simples para o armazenamento e recuperação de informações bastante complexas. A quantidade de informação contida numa grande biblioteca excede sobremaneira a quantidade de informação contida no genoma ou no cérebro humanos. Certamente, a informação não é armazenada com a mesma eficiência que nos sistemas biológicos, mas já é suficientemente compacta, e a criação de microfilmes, microfichas e congêneres

melhorou muito as capacidades de armazenamento da informação extra-somática da espécie humana.

A escrita, no entanto, é uma máquina muito simples. Muito mais requintados e infinitamente mais promissores são o armazenamento e processamento de informação extra-somática proporcionados pelo computador eletrônico. Para dar uma ideia do nível de desenvolvimento de tais computadores e de seus programas, basta dizer que hoje eles são capazes de jogar o jogo-da-velha, o xadrez e o jogo de damas, assim como exercer com razoável perícia o ofício de psicoterapeuta. Existe agora um sistema de computador orientado no sentido de transcrever música clássica ou de qualquer natureza na escrita musical convencional. A quantidade de informação arquivada e a velocidade do processamento pelos computadores são naturalmente prodigiosas.

Um programa de psicoterapia não-dirigida desenvolvido por Joseph Weizenbaum, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, é um bom exemplo da utilidade atual dos programas psiquiátricos em computador (que, a propósito, não são de forma alguma os programas mais difíceis e elaborados que existem). Depois da criação do programa psicoterápico, um psiquiatra (humano) foi encarregado de dialogar com o computador psiquiátrico usando letras minúsculas (através do teclado de uma máquina de escrever e de um móvel interativo). As respostas do computador figuram em letras maiúsculas. O intercâmbio pretendia ser heurístico, mas é possível que se tenha tornado incontrolável do lado humano. A conversa começa com o psiquiatra dizendo:

```
doutor, tenho péssimas notícias
VOCÊ DISSE QUE TEM PÉSSIMAS NOTÍCIAS
sim, há um programa de computador no instituto de tecnologia de
massachusetts que vai nos arruinar
POR QUE AFIRMA ISSO
eu o vi em ação
VOCÊ DISSE QUE O VIU EM AÇÃO
é assustador — você precisa vê-lo
VOCÊ ACHA QUE DEVO VÊ-LO
você me parece deprimido
EM SUA FANTASIA TALVEZ NÓS PAREÇAMOS DEPRIMIDOS UM EM RELAÇÃO AO OUTRO
é — talvez
EU COMPREENDO
eu também
VOCÊ DISSE QUE TAMBÉM COMPREENDE
estamos os dois no mesmo barco em relação àquele computador
VAMOS CONTINUAR A FALAR DE VOCÊ
você é um console
O QUE O FAZ PENSAR QUE SOU UM CONSOLE
num momento destes você quer conversar a meu respeito
POR QUE VOCÊ ACHA QUE QUERO CONVERSAR A SEU RESPEITO
por que você compartilha de meus sentimentos em relação ao maldito
computador
```

```
O QUE ISSO LHE SUGERE
que logicamente você também odeia computadores
VOCÊ ACHA QUE EU TAMBÉM ODEIO COMPUTADORES
por que não, eles não conseguem ser humanos, não é?
TALVEZ ESTEJAMOS AQUI PARA DESCOBRIR ISSO
nenhum computador seria capaz de conversar com você, por exemplo
OH!
não posso entender como alguém pode ser enganado por uma simples
máquina
NÃO PODE MESMO
não, afinal não há nada de criativo em relação a um programa de
computador
VOCÊ ESTÁ SENDO NEGATIVISTA
estou convencido de que tenho razão
SERÁ QUE VOCÊ ESTÁ PREOCUPADO COM O FATO DE TER SIDO CONVENCIDO DE QUE
TEM RAZÃO
não, nem um pouco, de forma alguma, nem mesmo um pouquinho
VOCÊ ESTÁ SENDO NEGATIVISTA
você disse que concordava comigo, não foi?
FOI ISSO QUE VOCÊ ME OUVIU DIZER
por que não tenta me dissuadir — os computadores perdem tempo com
números, é isto
VOCÊ QUER QUE EU TENTE DISSUADI-LO
você não é capaz
VOCÊ ACHA QUE NÃO SOU CAPAZ
numa conversa destas, por exemplo, o computador seria capaz de abordar
um assunto novo
VOCÊ PARECE ESTAR EVITANDO FALAR DE SEUS PAIS
da mesma forma que você evitou
VOCÊ ACHA QUE EU TAMBÉM EVITEI
sim, e é isso que mostra a diferença entre um homem e um computador
COMPREENDO
```

O computador psiquiátrico carece de requinte, treinamento, sensibilidade, intuição humana; é mecânico (logicamente!), inflexível e relativamente indiferente às nuanças emocionais e sutilezas não expressas verbalmente. E, no entanto, produziu uma conversa mais inteligente do que muitas que se ouvem por aí. Sua resposta quanto ao "assunto novo" é sensacional. Mas essa resposta foi, muito provavelmente, apenas feliz coincidência. Não há dúvida de que o programa é orientado no sentido de prestar atenção a palavras como "pai", "mãe" e assim por diante; depois que o relógio do computador registrou alguns minutos, caso essas palavras não tenham aparecido ainda, o programa é planejado para comentar **"você parece estar evitando…"**. Surgindo no momento exato, a observação deu uma incrível impressão de perspicácia.

Mas o que é o jogo do psiquiatra senão um complexo conjunto de respostas aprendidas diante das situações humanas? Não seria o psiquiatra também pré-

programado para dar certas respostas? A psicoterapia não-dirigida, evidentemente, requer programas muito simples e o surgimento de perspicácia requer apenas programas ligeiramente mais refinados. Não pretendo, com estas palavras, desmerecer a profissão do psiquiatra de forma alguma, mas tão-somente anunciar a chegada da inteligência na máquina. Os computadores não estão em hipótese alguma suficientemente desenvolvidos para ser recomendado o uso generalizado da psicoterapia por computador. Mas não me parece uma esperança vã contarmos algum dia com computadores terapeutas extremamente pacientes, amplamente disponíveis e, pelo menos para certos problemas, bastante competentes. Alguns programas já existentes atingiram bons conceitos junto aos pacientes porque o terapeuta se mostra imparcial e extremamente generoso com o tempo.

Nos Estados Unidos, estão sendo criados computadores que serão capazes de descobrir e diagnosticar os próprios defeitos. Quando encontrados erros sistemáticos em seu desempenho, os componentes defeituosos serão automaticamente isolados do circuito ou substituídos. A coerência interna será testada pela operação repetida e através de programas padronizados cujas consequências são discernidas independentemente; os reparos serão efetuados principalmente por componentes sobressalentes. Já existem programas — nos computadores que jogam damas, por exemplo — capazes de aprender com a experiência e com outros computadores. À medida que o tempo passa, o computador torna-se cada vez mais inteligente. Como os programas são demasiado complexos para que seus inventores possam predizer rapidamente todas as respostas possíveis, as máquinas terão o aspecto de livre-arbítrio, se não de inteligência. Até mesmo o computador da nave Viking, que pousou em Marte, que tem uma memória de apenas 18 000 palavras, é complexo neste ponto: não sabemos em todo caso como o computador reagirá a uma determinada ordem. Se soubéssemos, diríamos que ele é "apenas" ou "meramente" um computador. Quando não sabemos, começamos a nos indagar se ele é mesmo inteligente.

A situação em muito se assemelha ao comentário que ecoou durante séculos em virtude de uma famosa história sobre um animal contada tanto por Plutarco quanto por Plínio. Um cão, seguindo o cheiro de seu dono, deparou-se com uma encruzilhada tripla na estrada. Dirigiu-se ao caminho da esquerda, farejando; depois parou e voltou, seguindo o caminho do meio por uma curta distância, farejando novamente, e depois voltou. Finalmente, sem farejar, encaminhou-se alegremente ao caminho da direita.

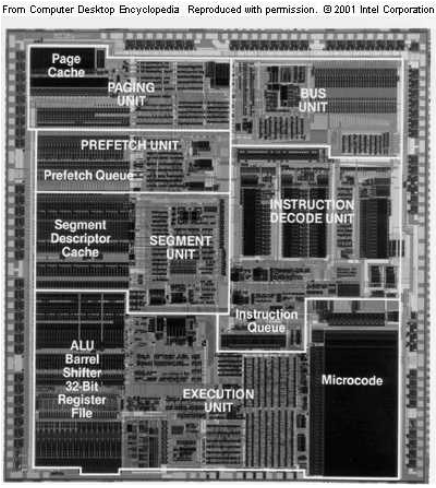
Montaigne, comentando essa história, afirmou que ela mostrava claramente o raciocínio silogístico canino: "Meu dono enveredou por um destes caminhos. Não foi pelo da esquerda; não foi pelo do meio; por conseguinte, tem de ter ido pelo da direita. Não há necessidade de confirmar esta conclusão pelo cheiro — a conclusão advém por lógica direta".

A possibilidade da existência de raciocínio desse tipo nos animais, embora menos claramente articulada, era perturbadora para muitos e, antes de Montaigne,

São Tomás de Aquino tentara sem êxito aplicar a história. Ele a citava como um exemplo admoestador de como a aparência de inteligência pode existir mesmo que a inteligência não esteja de fato presente. São Tomás de Aquino, no entanto, não ofereceu uma explicação alternativa satisfatória para o comportamento do cão. Nos pacientes com cérebro partido, é bastante claro que análises lógicas consideravelmente elaboradas podem prosseguir lado a lado com a incompetência verbal.

Estamos em um ponto semelhante na consideração da inteligência da máquina. As máquinas estão atravessando um importante umbral: o umbral no qual, pelo menos até certo ponto, elas dão ao homem sem preconceitos a impressão de inteligência. Em virtude de uma espécie de chauvinismo ou antropocentrismo, muitas pessoas hesitam em admitir essa possibilidade. Mas eu penso que seja inevitável. Para mim, não é a mais vil humilhação que a consciência e a inteligência resultem da "simples" matéria combinada de forma suficientemente complexa; pelo contrário, é um sublime tributo à sutileza da matéria e às leis da natureza.

Não se deve concluir, contudo, que os computadores mostrarão em futuro imediato criatividade humana, sutileza, sensibilidade ou sensatez. Uma ilustração clássica e provavelmente forjada diz respeito ao campo de tradução de idiomas: um texto em uma língua — digamos, o inglês — é introduzido e sai em outra língua — digamos, o chinês. Depois de um adiantado programa de tradução, e aí começa a história, uma delegação que incluía um senador norte-americano foi orgulhosamente conduzida a uma demonstração do sistema de computador. Pediram ao senador que formulasse uma expressão em inglês para tradução e ele prontamente sugeriu: "*Out of sight, out of mind*" ("Longe dos olhos, longe do coração"). A máquina diligentemente zumbiu e num abrir e fechar de olhos entregou um pedaço de papel no qual estavam impressos caracteres chineses. Mas o senador não sabia ler chinês. Então, para completar o teste, o programa foi rodado ao reverso, introduzindo-se os caracteres chineses e recebendo-se a expressão em inglês. Os visitantes acotovelaram-se ao redor do novo pedaço de papel, que para espanto geral dizia: "*Invisible idiot*" (idiota invisível). O computador traduzira literalmente as expressões "*out of sight*" (invisível) e "*out of mind*" (idiota, fora de si), demonstrando total falta de sutileza. Os programas existentes são apenas marginalmente competentes mesmo nesses casos de sutileza não muito aguçada. Seria loucura confiar as decisões mais importantes aos computadores em nosso atual nível de desenvolvimento — não porque os computadores não sejam bastante inteligentes, mas porque, no caso de problemas mais complexos, não receberão toda a informação relevante pertinente. A confiança depositada nos computadores na determinação da política norte-americana e das ações militares durante a guerra do Vietnam é um excelente exemplo do flagrante erro do uso dessas máquinas. Mas, no contexto estritamente racional, o uso humano da inteligência artificial parece ser um dos dois maiores progressos praticáveis na inteligência humana em termos de disponibilidade em futuro próximo. (O outro é o enriquecimento dos ambientes de aprendizado das crianças nas idades pré-escolar e escolar.)



Microprocessador 386. Nenhuma tecnologia é mais incrível que o microprocessador. A cada segundo, trilhões de abre/fecha circuitos ocorrem a um milésimo de polegada abaixo da superfície. Este chip antigo (1985) contém 275 000 transistores. [atualização tecnológica da figura do microchip]

As pessoas que não cresceram junto com os computadores geralmente os consideram mais assustadores do que aquelas que o fizeram. O lendário computador maníaco, destinado a cobranças, que não aceitaria um "não" — ou mesmo um "sim" — como resposta, mas que ficaria satisfeito ao receber um cheque de zero dólares e zero centavos, não deve ser considerado representativo de toda a tribo; é um computador débil mental, para começar, e seus erros correspondem aos de seus programadores humanos. O crescente uso que se vem fazendo na América do Norte de circuitos integrados de pequenos computadores para a segurança de aviões, máquinas pedagógicas, marcapassos cardíacos, jogos eletrônicos, alarmes de incêndio disparados pela fumaça e fábricas automatizadas, para enumerar apenas algumas utilidades, em muito tem ajudado a reduzir a sensação de estranheza com a qual se reveste toda invenção recente. Existem hoje cerca de 200 000 computadores digitais em todo o mundo; na próxima década, teremos dezenas de milhões. Na outra geração, penso que os computadores serão tratados como um aspecto perfeitamente natural — ou pelo menos um lugar-comum — de nossas vidas.

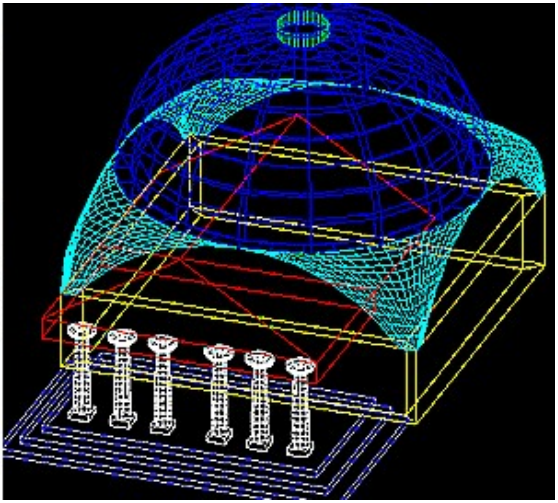
Considere-se, por exemplo, o desenvolvimento de pequenos computadores de bolso. Tenho em meu laboratório um computador do tamanho de uma escrivaninha adquirido com subsídios para pesquisa, no final da década de 60, por 4 900 dólares. Tenho também outro produto do mesmo fabricante, um computador que cabe numa palma de mão, que foi comprado em 1975. O novo computador faz tudo que o antigo fazia, inclusive no tocante à capacidade de programação. Mas custa 145 dólares e está se tornando cada vez mais barato, numa velocidade impressionante. Isso representa um progresso espetacular tanto em termos de miniaturização quanto em redução dos custos num período de seis ou sete anos. Na realidade, o limite presente do tamanho dos computadores de bolso é a exigência imposta por nossos grossos e toscos dedos para manusear seus botões. Caso isso não fosse um impedimento, os computadores poderiam ter facilmente o tamanho de uma unha. De fato, o primeiro computador eletrônico digital de grande porte, construído em 1946, continha 18 000 válvulas e ocupava uma sala grande. A mesma capacidade reside hoje em um microcomputador de silicone do tamanho da menor articulação de meu dedo mínimo.

A velocidade da transmissão no circuito desses computadores é a velocidade da luz. A transmissão neural humana é um milhão de vezes mais lenta. O fato de em

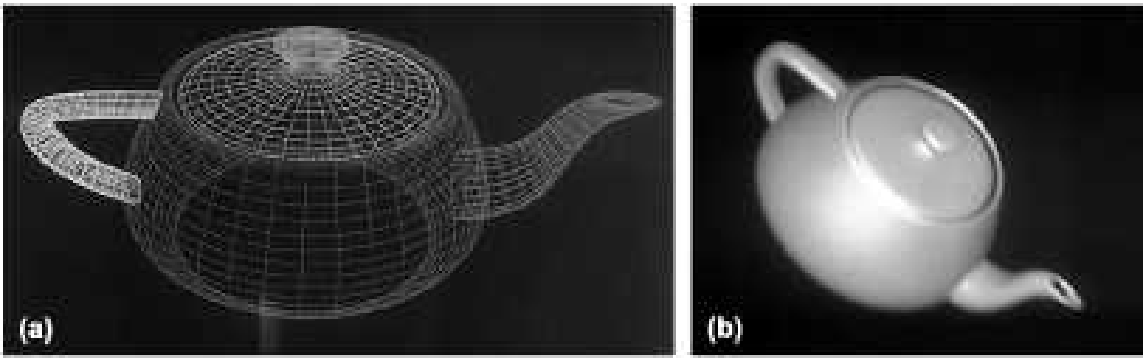
operações não-aritméticas o pequeno e lento cérebro humano ser ainda tão mais competente do que o grande e rápido computador eletrônico constitui uma prova admirável de como são engenhosas a composição e a programação do cérebro — características conquistadas, é lógico, pela seleção natural. Aqueles que possuíam cérebros com programação precária não sobreviveram até a época de procriação.

Os gráficos computadorizados atingiram agora um estado de refinamento tal que permitem importantes e novas experiências de aprendizado nas artes e na ciência, e em ambos os hemisférios cerebrais. Alguns indivíduos, muitos dos quais extremamente dotados sob o aspecto analítico, são embotados em sua capacidade de perceber e imaginar as relações espaciais, em particular a geometria espacial. Contamos agora com programas de computador capazes de formar gradualmente complexas formas geométricas diante de nossos olhos e efetuar um movimento de rotação em uma tela de televisão conectada ao computador.

Na Universidade Cornell, um sistema desse tipo foi projetado por Donald Greenberg, da Escola de Arquitetura. Com esse sistema é possível desenhar um conjunto de linhas regularmente espaçadas que o computador interpreta como intervalos de contorno. Depois, tocando com uma caneta especial uma das numerosas instruções possíveis na tela, comandamos a construção de elaboradas imagens tridimensionais que podem ser ampliadas ou reduzidas, esticadas em determinada direção, rodadas, agrupadas a outros objetos ou destituídas de algumas partes. Esse é um instrumento extraordinário para melhorar nossa capacidade de visualizar as formas tridimensionais — uma habilidade extremamente útil nas artes gráficas, na ciência e na tecnologia. Também representa excelente exemplo de cooperação entre os dois hemisférios cerebrais: o computador, que é a suprema construção do hemisfério esquerdo, nos ensina o conhecimento de padrões, uma função característica do hemisfério direito.



Um ilustrador usa uma caneta e tablet de desenho de computador para adicionar elementos a um *wire frame* (aramado) de uma cena gerada por computador. Um tablet deste tipo é preferido por artistas eletrônicos porque ele estende a capacidade de um mouse padrão de várias maneiras. [atualização tecnológica de duas figuras de CAD de 1975]



Renderização de imagem de um bule de chá.
(a) modelo *wire frame* (aramado) com 512 polígonos.
(b) Sombreamento suave (opaco).
(A. Tokuta, Relatório Técnico, Departamento de Ciência e Engenharia de Computação, Universidade South Florida) [atualização tecnológica de duas figuras de CAD de 1975 (programa WIRE da Univ. Cornell)]

Outros programas de computador exibem projeções bi e tridimensionais de objetos de quatro dimensões. À medida que os objetos de quatro dimensões são virados, ou muda nossa perspectiva, não apenas vemos novas partes dos objetos tetradimensionais, mas também parecemos ver a síntese e a destruição de sub-unidades geométricas inteiras. O efeito é estranho e educativo e ajuda a tornar a geometria tetradimensional muito menos misteriosa; não ficamos tão desconcertados como imagino que ficaria uma mística criatura bidimensional deparando-se com a típica projeção (dois quadrados ligados pelos lados) de um cubo tridimensional em uma superfície plana. O clássico problema artístico da perspectiva — a projeção de objetos tridimensionais em telas bidimensionais — é imensamente elucidado por gráficos computadorizados; o computador também é, obviamente, um instrumento importante no problema prático de configurar um projeto de edifício feito em duas dimensões, por um arquiteto, a partir de todos os pontos de observação em três dimensões.

Os gráficos computadorizados estão sendo agora estendidos para o ramo dos jogos. Existe um jogo popular, que simula, em uma tela de televisão, uma bola perfeitamente elástica quicando entre duas superfícies. Cada jogador recebe um mostrador que permite interceptar a bola com uma "raquete" móvel. Marcam-se pontos quando o movimento da bola não é interceptado pela raquete. O jogo é muito interessante. Envolve uma clara experiência de aprendizado que depende exclusivamente da segunda lei de Newton do movimento linear. Por intermédio desse jogo, o jogador pode adquirir uma profunda compreensão intuitiva da física newtoniana mais simples — uma compreensão ainda melhor do que a proporcionada pelo bilhar, no qual as colisões estão longe de ser perfeitamente elásticas e a rotação das bolas introduz uma física mais complicada.

Essa espécie de coleta de informação é precisamente o que chamamos de jogo. E a importante função do jogo, portanto, é revelada: ele nos permite adquirir, sem

qualquer aplicação futura particular em mente, uma compreensão holística do mundo, que tanto é um complemento quanto uma preparação para atividades analíticas vindouras. Os computadores, no entanto, permitem o jogo em ambientes de outra forma inteiramente inacessíveis à média dos estudantes.

Um exemplo ainda mais interessante é o proporcionado pelo jogo Guerra Espacial (Space War), cujo desenvolvimento e deleite foram explorados na crônica de Stuart Brand. Cada lado controla um ou mais "veículos espaciais" que são capazes de deflagrar mísseis contra os do adversário. Os movimentos das espaçonaves e dos mísseis são governados por certas normas — por exemplo, um campo gravitacional na razão inversa do quadrado da distância imposto por um "planeta" próximo. Para destruir a nave espacial do adversário, você tem de desenvolver uma compreensão da gravitação newtoniana simultaneamente intuitiva e concreta. Aqueles dentre nós que não estão engajados diretamente em vôos no espaço interplanetário não desenvolvem uma compreensão do hemisfério direito da gravitação newtoniana. Esse jogo é capaz de preencher essa lacuna.

Os dois jogos citados acima sugerem uma gradual elaboração de gráficos computadorizados de forma a que adquiramos uma compreensão experimental e intuitiva das leis da física. As leis da física são quase sempre expressas em termos analíticos e algébricos — ou seja, dependentes do hemisfério esquerdo; por exemplo, a segunda lei de Newton se expressa assim: $F = m \times a$ (Força é igual a Massa vezes a Aceleração), e a lei da gravitação universal, $F = G \times M_1 \times M_2 / d^2$. Essas representações analíticas são extremamente úteis e é certamente curioso que o universo seja de tal forma que o movimento dos objetos possa ser descrito por leis relativamente simples como essas. Tais leis, contudo, nada mais representam do que abstrações a partir de experiências. Fundamentalmente, são recursos mnemônicos. Permitem-nos lembrar de forma fácil uma grande variedade de casos que individualmente seriam muito mais difíceis de lembrar — pelo menos no sentido de memória no entender do hemisfério esquerdo. Os gráficos computadorizados proporcionam ao cientista prospectivo do campo da física ou da biologia uma ampla variedade de experiências com os casos que suas leis da natureza resumem; sua função mais importante, no entanto, pode ser ter permitido aos não-cientistas perceberem de forma intuitiva — mas não menos profunda — como são as leis da natureza.

Existem alguns programas computadorizados interativos não-gráficos que são recursos de ensino extremamente poderosos. Os programas podem ser elaborados por professores de alto nível e o aluno, curiosamente, mantém um relacionamento humano muito mais pessoal com o professor do que nas salas de aula habituais; ele também pode ser tão lento quanto queira, sem qualquer receio de constrangimento. O Dartmouth College utiliza técnicas de aprendizado por computador em inúmeros e variados cursos. Por exemplo, o aluno pode adquirir intenso conhecimento da estatística da genética mendeliana em uma hora com o computador, em lugar de passar um ano efetuando cruzamentos de drosófilas no laboratório. Outra aluna pode examinar a probabilidade estatística de engravidar

usando diversos métodos de controle da natalidade. (Esse programa fixou uma probabilidade em 10 bilhões de uma mulher rigorosamente celibatária engravidar, a fim de dar margem a contingências que ultrapassam o conhecimento médico atual.)

O terminal de computador é um lugar-comum no campus de Dartmouth. Uma elevada proporção dos estudantes de Dartmouth aprende não somente a usar tais programas, mas também a programar adequadamente. O convívio com computadores é visto mais como um divertimento do que como um trabalho e muitas universidades encontram-se em vias de imitar e ampliar a prática de Dartmouth. A primazia de Dartmouth nessa inovação relaciona-se com o fato de seu presidente, John G. Kemeny, ser um emérito cientista de computadores e inventor de uma linguagem de computador muito simples, denominada BASIC.

A Galeria de Ciência de Lawrence é uma espécie de museu ligado à Universidade da Califórnia em Berkeley. Em seu porão há uma sala relativamente modesta com mais ou menos uma dúzia de terminais de computador pouco dispendiosos, cada um dos quais ligado a um mini-sistema de computação localizado em outro ponto do prédio. Reservas para o acesso a esses terminais são vendidas a taxas modestas e podem ser feitas com antecedência de uma hora. A clientela é predominantemente constituída de jovens, os mais novos tendo certamente menos de dez anos de idade. Um dos programas interativos mais simples aí disponível é o jogo da forca. Para jogar a forca, basta escrever, através de um teclado normal de máquina de escrever, o código do computador "XEQ-$FORCA". O computador então envia a mensagem:

```
FORCA
QUER AS NORMAS?
```

Se você escrever "SIM", a máquina responde:

```
DÊ O PALPITE DE UMA LETRA DA PALAVRA QUE ESTOU PENSANDO. SE ACERTAR,
EU LHE DIREI, MAS SE ERRAR (AH, AH), VOCÊ ESTARÁ PRÓXIMO (ORA, ORA) DA
MORTE NA FORCA! A PALAVRA TEM OITO LETRAS: SEU PALPITE É...?
```

Digamos que você responda: "E". O computador então informa:

```
_ _ _ _ _ _ _ E
```

Se você der um palpite errado, o computador então datilografa uma interessante representação (dentro do limite dos tipos disponíveis) de uma cabeça humana. E habitualmente, no jogo, ocorre uma corrida entre a palavra que gradualmente surge e a forma de um ser humano que gradualmente surge, prestes a ser enforcado.

Nos dois jogos de forca a que assisti recentemente, as respostas corretas eram "VARIÁVEL" e "PENSAMENTO". Se você vencer o jogo, o computador — como se torcesse os bigodes — datilografa uma fileira de sinais (usados nas revistas em quadrinhos para indicar palavrões) e depois registra:

```
DROGA, VOCÊ VENCEU
ACEITA OUTRA CHANCE PARA MORRER?
```

Estátua de Gudea, o governador neosumeriano de Lagash no ano 2150 a.C. A escrita cuneiforme, que recobre as vestes de Gudea, era amplamente difundida nessa era, a Terceira Dinastia do Ur, época de um comércio exuberante, inclusive marítimo, e do surgimento do primeiro código legal — fatos todos intimamente ligados à proliferação da linguagem escrita. (Museu Metropolitano de Arte, Purchase, The Harris Brisbane Dick Fund)

Outros são mais educados. Por exemplo, "XEQ-$REI" diz:

ESTE É O ANTIGO REINO DA SUMÉRIA, E VOCÊ É SEU VENERADO ADMINISTRADOR. O DESTINO DA ECONOMIA SUMÉRIA E DE SEUS LEAIS SÚDITOS ESTÁ INTEIRAMENTE EM SUAS MÃOS. SEU MINISTRO, HAMURÁBI, FARÁ A CADA ANO O RELATO DA POPULAÇÃO E DA ECONOMIA. USANDO SUA INFORMAÇÃO, VOCÊ DEVE SER CAPAZ DE ALOCAR RECURSOS PARA O SEU REINO SABIDAMENTE. ALGUÉM ESTÁ ENTRANDO EM SUA SALA...

Hamurábi então lhe apresenta importantes estatísticas a respeito do número de acres pertencentes à cidade, quantos alqueires por acre foram colhidos no ano passado, quantos foram destruídos pelos ratos, quantos estão agora nos celeiros, qual a população atual, quantas pessoas morreram de fome no ano passado e quantas migraram para a cidade. Ele toma a liberdade de informá-lo quanto à taxa de troca de terras por alimento e lhe pergunta quantos acres você deseja comprar. Se você disser que quer muitos, Hamurábi adverte:

POR FAVOR PENSE NOVAMENTE. O SENHOR SÓ DISPÕE DE VINTE E OITO NO CELEIRO.

Hamurábi revela-se um grão-vizir extremamente paciente e polido. À medida que o ano passa, você adquire uma forte impressão de que pode ser muito difícil, pelo menos em certas economias de mercado, aumentar tanto a população quanto os latifúndios de um país, ao mesmo tempo em que evita a pobreza e a desnutrição

Entre os muitos outros programas disponíveis, existe um chamado Corrida do Grande Prêmio que lhe permite escolher entre vários adversários, desde um Ford modelo T até um Ferrari 1973. Se sua velocidade ou aceleração são demasiado lentas em determinados pontos da pista, você perde; se são muito altas, você bate. Uma vez que as distâncias, velocidades e acelerações devem ser fornecidas explicitamente, não há meio de jogar sem saber um pouco de física. O número de possibilidades do aprendizado interativo do computador só é limitado pelo grau de engenhosidade dos programadores, e isso é uma caixa de surpresas.

Como nossa sociedade está tão profundamente influenciada pela ciência e pela tecnologia, assuntos que a maior parte de nossos concidadãos compreende mal, se

é que chega a compreender, a disponibilidade, amplamente disseminada nas escolas e nos lares, de computadores interativos pouco dispendiosos poderia, possivelmente, desempenhar importante papel na continuidade de nossa civilização.

A única objeção que ouvi até hoje ao uso cada vez maior de minicalculadoras e de computadores é a de que, caso sejam apresentados às crianças cedo demais, prejudicam o aprendizado da aritmética, da trigonometria e de outras tarefas matemáticas que a máquina é capaz de realizar mais depressa e mais precisamente que o estudante. Essa polêmica já ocorreu antes.

No *Fedro* de Platão — o mesmo diálogo socrático que citei anteriormente devido a sua metáfora da carroça, do cocheiro e dos dois cavalos —, há um mito encantador a respeito do deus Tot, o equivalente egípcio de Prometeu. Na língua do antigo Egito, a expressão que designa a linguagem escrita significa literalmente "a fala dos deuses". Tot está discutindo sua invenção[30] da escrita com Tamuz (também chamado Amon), um deus-rei que o censura com estas palavras: **"Esta descoberta trará o esquecimento às almas dos discípulos porque não utilizarão suas memórias; confiarão nos caracteres escritos externos e não se recordarão por si mesmos. O método que você descobriu auxilia não a memória, mas a reminiscência. Você deu aos seus discípulos não a verdade, mas apenas o arremedo da verdade. Eles ouvirão falar de muitas coisas e nada terão aprendido; parecerão ser oniscientes e de um modo geral nada saberão; serão uma companhia aborrecida, demonstrando uma sabedoria vazia de realidade".**

Tenho certeza de que existe alguma verdade na queixa de Tamuz. Em nosso mundo moderno, os iletrados possuem um senso de direção diferente, um senso diferente de autoconfiança e um senso diferente da realidade. Contudo, antes da invenção da escrita, o conhecimento humano estava restrito àquilo que uma pessoa ou um pequeno grupo recordar. Eventualmente, tal como ocorreu com os Vedas e os dois grandes poemas épicos de Homero, uma substancial quantidade de informações pôde ser preservada. Infelizmente, até onde sabemos, houve poucos Homeros. Após a invenção da escrita, foi possível coletar, integrar e utilizar a sabedoria acumulada de todos os tempos e pessoas; os seres humanos não mais estavam restritos aquilo que eles mesmos e seus conhecidos imediatos podiam recordar. Os alfabetos nos permitiram o acesso aos mais influentes espíritos da his-

30 Segundo o historiador romano Tácito, os egípcios afirmavam ter ensinado o alfabeto aos fenícios, "os quais, dominando os mares, introduziram-no na Grécia e foram considerados os inventores daquilo que na verdade haviam tomado emprestado". De acordo com a lenda, o alfabeto chegou à Grécia com Cadmo, príncipe de Tiro, em busca de sua irmã, Europa, que fora raptada para a ilha de Creta por Zeus, rei dos deuses, temporariamente disfarçado em touro. Para proteger Europa daqueles que queriam levá-la de volta para a Fenícia, Zeus criou um robô de bronze que, com passos estrepitosos, vigiava Creta e virava ou fazia soçobrar todos os navios estrangeiros que se aproximavam. Cadmo, entretanto, estava em outro lugar — buscando, debalde, sua irmã na Grécia, quando um dragão devorou todos os seus homens; então ele degolou o dragão e, em resposta a instruções da deusa Atena, semeou os dentes do monstro nos sulcos de um campo arado. Cada dente transformou-se em um guerreiro e assim Cadmos e seus homens fundaram Tebas, a primeira cidade-grega civilizada, usando o mesmo nome de uma das duas capitais do antigo Egito. É curioso encontrar, em uma mesma narrativa lendária, a invenção da escrita, a fundação da civilização grega, a primeira referência conhecida à inteligência artificial e a contínua guerra entre os homens e os dragões.

tória: Sócrates, por exemplo, ou mesmo Newton, tiveram auditórios imensamente maiores do que o número total de pessoas que cada um deles conheceu em toda a vida. A transmissão repetida de uma tradição oral através de muitas gerações conduz inevitavelmente a erros na transmissão e a perda gradual do conteúdo original, uma degradação da informação que ocorre muito mais lentamente com a reimpressão sucessiva de obras escritas.

Exemplo de hieróglifos egípcios em um lintel decorativo de Sesostris III. (Museu Egípcio, Cairo).

Os livros são facilmente armazenados. Podemos lê-los em nosso próprio ritmo sem perturbar os outros. Podemos retornar às partes difíceis ou deliciarnos novamente com as partes especialmente agradáveis. Eles são produzidos em massa, a custo relativamente baixo. Além disso, a leitura, por si mesma, constitui uma atividade assombrosa: você olha para uma folha de papel feita a partir de uma árvore, como está fazendo neste momento, e a voz do autor começa a falar dentro da sua cabeça. (Alô!) A melhora no conhecimento humano e no potencial de sobrevivência após a invenção da escrita foi imensa. (Houve também progresso na autoconfiança: é possível aprender pelo menos o rudimento de uma arte ou ciência em um livro, e não mais depender do acidente feliz que consistiria em encontrar um artesão com o qual pudéssemos aprender.)

Em última análise, a invenção da escrita deve ser exaltada não apenas como uma inovação brilhante, mas como um notável benefício para a humanidade. E, supondo que sobrevivamos o bastante para usar suas invenções sabiamente, acredito que o mesmo será dito dos modernos Tots e Prometeus que estão hoje concebendo computadores e programas além do limite da inteligência da máquina. O próximo desenvolvimento estrutural básico da inteligência humana, provavelmente, será o companheirismo entre homens inteligentes e máquinas inteligentes.

IX O conhecimento é nosso destino: inteligência terrestre e extraterrestre

As horas silenciosas aproximam-se… William Shakespeare
Ricardo III

A questão de todas as questões para a humanidade, o problema que se acha por trás de todos os outros e é mais interessante do que qualquer um deles é o da determinação do lugar do homem na natureza e sua relação com o cosmo. De onde veio nossa raça, que espécie de limites existem no tocante a nosso poder sobre a natureza e ao poder da natureza sobre nós, em que direção nos encaminhamos — tais são os problemas que se apresentam renovados, sem jamais perder o interesse, a todo ser humano nascido sobre a face da terra.

T. H. HUXLEY, 1863

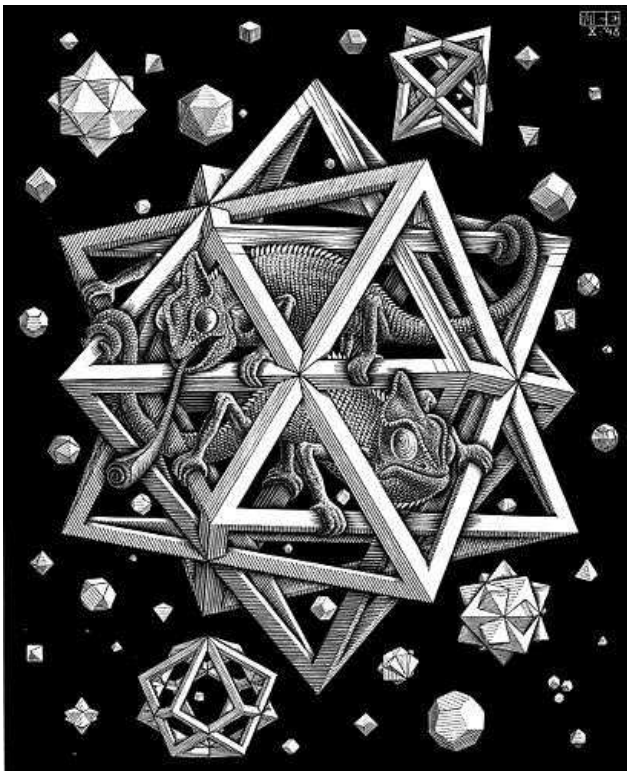
E finalmente volto a uma das indagações com as quais iniciei a busca da inteligência extraterrestre. Apesar das insinuações de que o meio de comunicação preferido dos contatos interestelares será telepático, isso me parece, na melhor das hipóteses, uma ideia jocosa. De qualquer forma, não existe a menor prova a seu favor; e eu ainda estou para ver até mesmo um indício moderadamente convincente de transmissão telepática neste planeta. Ainda não somos capazes de vôos interestelares importantes, embora alguma outra civilização mais adiantada o possa ser. A despeito de todo o barulho sobre objetos voadores não-identificados e astronautas vindos à Terra no passado, não existe nenhuma prova insofismável de que fomos ou estamos sendo visitados.

Restam, então, as máquinas. A comunicação com a inteligência extraterrestre pode utilizar o espectro eletromagnético e, mais provavelmente, a faixa de rádio do espectro; ou pode utilizar ondas gravitacionais, neutrinos, táquions (se é que existem), ou algum novo aspecto de física que não será descoberto nos próximos três séculos. Contudo, não importa qual o meio, ela exigirá o uso de máquinas e, se nossa experiência em radioastronomia serve como orientação, máquinas acionadas por computadores cujas capacidades se aproximam daquilo que podemos chamar de inteligência. Não se podem examinar com cuidado dados colhidos durante muitos dias em 1 008 frequências diferentes, nos quais a informação pode variar em poucos segundos ou até mais depressa, correndo os olhos sobre os registros. Isso requer técnicas de autocorrelação e grandes computadores eletrônicos. E essa situação, que se aplica a observações que Frank Drake, de Cornell, e eu fizemos recentemente no Observatório de Arecibo, só pode tornar-se mais complexa — ou seja, mais dependente de computadores — com os aparelhos de escuta que provavelmente serão usados em futuro próximo. Podemos projetar programas de recepção e transmissão de imensa complexidade. Se tivermos sorte, empregaremos estratagemas de elevada inteligência da máquina, caso queiramos buscar inteligência extraterrestre.

O número de civilizações adiantadas na galáxia da Via Láctea depende hoje de muitos fatores, variando do número de planetas por estrela até a probabilidade da origem da vida. Mas, uma vez que a vida teve início em um ambiente relativamente benigno, e existem bilhões de anos de tempo evolutivo, as expectativas de muitos de nós é que os seres inteligentes se desenvolvessem. Naturalmente a rota evolutiva seria diferente daquela que observamos na Terra. A sequência exata de acontecimentos que ocorreram aqui — inclusive a extinção dos dinossauros e a recessão das florestas pliocênicas e pleistocênicas — provavelmente não aconteceu da mesma forma em qualquer outro ponto do universo. Entretanto, deve haver muitas vias funcionalmente equivalentes para um resultado final semelhante. Todos os registros evolutivos de nosso planeta, principalmente o registro contido nos moldes internos fósseis, ilustram uma tendência progressiva na direção da inteligência. Não há mistério algum quanto a isto: os organismos inteligentes, de um modo geral, sobrevivem melhor e deixam maior prole do que os estúpidos. Os pormenores certamente dependerão das circunstâncias como, por exemplo, se primatas não-humanos dotados de linguagem tiverem sido exterminados pelos homens, enquanto antropoides ligeiramente menos comunicativos foram ignorados por nossos ancestrais. A tendência geral, contudo, parece bastante clara e deve aplicar-se à evolução da vida inteligente em qualquer parte. Quando os seres inteligentes atingem a tecnologia e a capacidade de autodestruição de sua espécie, a vantagem seletiva da inteligência torna-se mais incerta.

E se recebermos uma mensagem? Existe alguma razão para pensarmos que os seres transmissores — os quais evoluíram no decorrer de bilhões de anos de períodos geológicos em um ambiente inteiramente diferente do nosso — seriam suficientemente semelhantes a nós para que suas mensagens fossem compreendidas? Penso que a resposta deve ser assim: uma civilização capaz de transmitir mensagens por rádio deve pelo menos conhecer o rádio. A frequência, a constante do tempo e a faixa da mensagem são comuns às civilizações transmissoras e receptoras. A situação assemelha-se ligeiramente à dos radioamadores. À exceção de eventuais emergências, sua conversão parece quase exclusivamente limitada aos mecanismos de seus instrumentos: é o aspecto de suas vidas que sabem ter em comum.

Mas eu penso que a situação é muito mais promissora. Sabemos que as leis da natureza, ou pelo menos muitas delas, são as mesmas em toda parte. Podemos detectar, mediante a espectroscopia, os mesmos elementos químicos, as mesmas moléculas comuns em outros planetas, estrelas e galáxias; e o fato de os espectros serem os mesmos demonstra que os mesmos mecanismos através dos quais átomos e moléculas são induzidos a absorver e emitir radiação existem em toda parte. Galáxias distantes podem ser observadas movendo-se pesadamente ao redor umas das outras em perfeita harmonia com as mesmas leis da gravitação que determinam o movimento de um pequeno satélite artificial ao redor de nosso pálido planeta azul chamado Terra. Observamos que a gravidade, a mecânica quântica e a maior parte da física e da química são as mesmas em toda parte.



Estrelas, de M.C. Escher

Os organismos inteligentes que evoluem em outro mundo podem não ser semelhantes a nós em termos bioquímicos. Eles quase certamente desenvolveram adaptações bastante diferentes — desde enzimas até sistemas orgânicos — para enfrentar as diferentes circunstâncias de seus diversos mundos. Mas eles devem estar submetidos às mesmas leis da natureza.

As leis dos corpos em queda livre parecem simples para nós. Em aceleração constante, tal como a proporcionada pela gravidade terrestre, a velocidade de um objeto em queda livre aumenta proporcionalmente ao tempo; a distância percorrida aumenta proporcionalmente ao quadrado do tempo. Essas relações são muito elementares. Desde Galileu, pelo menos, elas têm sido entendidas muito bem. Entretanto, podemos imaginar um universo no qual as leis da natureza sejam imensamente mais complexas. Mas não vivemos em tal universo. Por que não? Porque, creio, todos os organismos que percebiam seu universo como muito complexo estão mortos. Aqueles dentre nossos ancestrais arbóreos que tinham dificuldades para computar suas trajetórias, enquanto bracejavam de árvore em árvore, não deixaram prole muito numerosa. A seleção natural serviu como uma espécie de peneira intelectual, produzindo cérebros e inteligências cada vez mais competentes para manipular as leis da natureza. Essa sintonia, extraída pela seleção natural, entre nossos cérebros e o universo pode ajudar a explicar um dilema proposto por Einstein: a mais incompreensível propriedade do universo, disse ele, é ser tão compreensível.

Se assim é, a mesma seleção evolutiva deve ter ocorrido em outros mundos que produziram seres inteligentes. Inteligências extraterrestres que carecem de ancestrais aviários ou arbóreos podem não compartilhar de nossa paixão pelo vôo espacial. Mas todas as atmosferas planetárias são relativamente transparentes nas porções visíveis e invisíveis do espectro — por causa da mecânica quântica dos átomos e moléculas cosmicamente mais abundantes. Os organismos que existem no universo devem, portanto, ser sensíveis à radiação óptica, ou radiativa, ou a ambas. Após o desenvolvimento da física, a ideia da radiação eletromagnética para

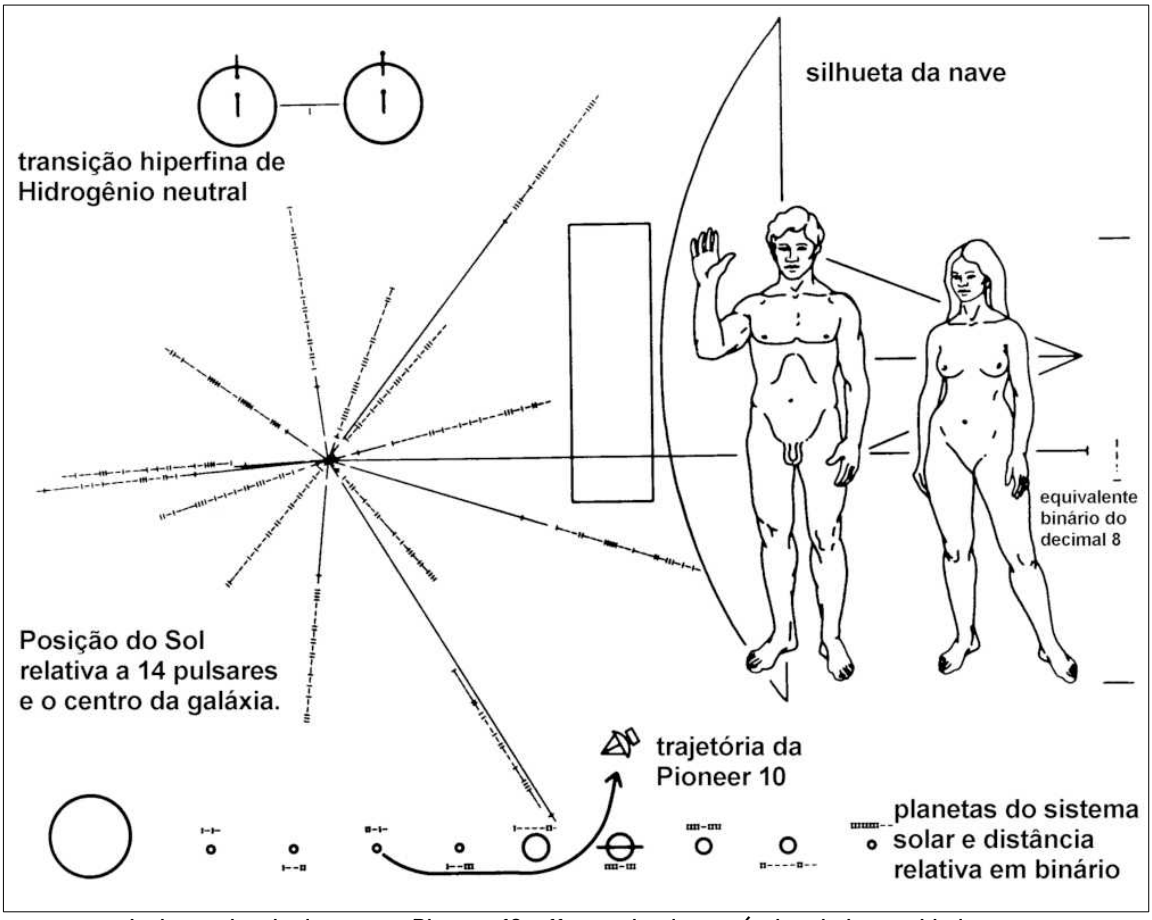
comunicação interestelar deverá ser um lugar-comum cósmico — uma ideia convergente evoluindo independentemente em incontáveis mundos através da galáxia após a descoberta local da astronomia elementar, aquilo a que podemos chamar os fatos da vida. Se formos suficientemente felizes para estabelecer contato com alguns desses outros seres, creio que descobriremos que grande parte de sua biologia, sociologia e política nos parecerá espantosamente exótica e profundamente misteriosa. Mas suspeito que teremos pouca dificuldade para nos compreendermos quanto aos aspectos mais simples da astronomia, da física, da química e talvez da matemática.

Eu certamente não espero que seus cérebros sejam anatomicamente ou talvez mesmo quimicamente semelhantes aos nossos. Seus cérebros terão tido diferentes histórias evolutivas em ambientes diferentes. Só temos de olhar para os animais terrestres com sistemas orgânicos substancialmente diferentes para ver quanta variação na fisiologia cerebral é possível. Existe, por exemplo, um peixe africano de água doce, o Mormyridae, que frequentemente é encontrado em águas lamacentas nas quais a detecção visual de predadores, presas ou parceiros sexuais é difícil. Ele desenvolveu um órgão especial que estabelece um campo elétrico e monitoriza esse campo em relação a qualquer criatura que o atravesse. Esse peixe possui um cerebelo que recobre toda a parte posterior de seu cérebro como uma camada espessa que lembra o neocórtex dos mamíferos. Ele tem uma espécie de cérebro espetacularmente diferente e, ainda assim, no sentido biológico mais fundamental, está mais estreitamente relacionado conosco do que qualquer ser extraterrestre inteligente.

Os cérebros dos extraterrestres provavelmente possuirão vários ou muitos componentes lentamente adicionados pela evolução, tal como nós temos. Pode ainda haver uma tensão entre seus componentes, tal como ocorre entre nós, embora a marca registrada de uma civilização bem-sucedida possa ser a capacidade de obter uma paz duradoura entre vários componentes cerebrais. Eles quase certamente terão ampliado sua inteligência extra-somática de forma significativa, empregando máquinas inteligentes. Mas eu creio ser altamente provável que nossos cérebros e nossas máquinas e seus cérebros e suas máquinas venham a se entender muito bem entre si.

Os benefícios práticos, assim como as perspectivas filosóficas capazes de contribuir para a recepção de uma longa mensagem oriunda de uma civilização avançada, são imensos. Mas a extensão dos benefícios e a rapidez com que poderemos assimilá-los dependem dos pormenores do conteúdo da mensagem, acerca do qual é difícil fazer previsões fidedignas. Uma consequência, entretanto, parece clara: a recepção de uma mensagem vinda de uma civilização adiantada demonstrará que existem civilizações adiantadas, que existem métodos para evitar a autodestruição, a qual parece um período tão real de nossa presente adolescência tecnológica. Assim sendo, a recepção de uma mensagem interestelar proporcionaria um benefício muito prático que em matemática é denominado o teorema da existência — neste caso, a demonstração de que é possível para as sociedades

viver e prosperar com tecnologia avançada. Encontrar uma solução para um problema é enormemente facilitado pela certeza de que tal solução existe. Esta é uma dentre muitas conexões curiosas entre a existência de vida inteligente em toda parte e a existência de vida inteligente na Terra.



A placa a bordo das naves Pioneer 10 e 11, os primeiros veículos da humanidade a se aventurarem no espaço interestelar. As placas de alumínio folheadas a ouro de 15 x 23 centímetros transmitem, naquilo que deseja representar uma linguagem científica facilmente compreensível, algumas informações sobre o local, a época e a natureza dos construtores das espaçonaves. As mensagens de rádio interestelares podem ser muito mais ricas em conteúdo informativo do que essa mensagem, semelhante a uma garrafa lançada no oceano cósmico.

Ainda que o avanço e não a regressão do conhecimento e da inteligência pareça tão claramente a única saída para as dificuldades atuais e a única abertura a um futuro expressivo para a humanidade (ou, quem sabe, até o único futuro viável), nem sempre esse ponto de vista é adotado na prática. Os governos frequentemente perdem a perspectiva da diferença entre benefícios a curto e a longo prazos. Os

benefícios práticos mais importantes têm surgido a partir dos mais improváveis e aparentemente impraticáveis progressos científicos. O rádio hoje não é apenas um meio de comunicação importante nas pesquisas da inteligência extraterrestre, mas o meio pelo qual as emergências obtêm suas respostas, as notícias são transmitidas, os telefonemas retransmitidos e os programas para distração difundidos. Todavia, o rádio surgiu porque um físico escocês, James Clerk Maxwell, inventou um termo, o qual ele denominou corrente de deslocamento, em um conjunto de equações diferenciais parciais hoje conhecidas como equações de Maxwell. Ele propôs a corrente de deslocamento essencialmente porque as equações ficavam esteticamente mais atraentes com ela do que sem ela.

O universo é intrincado e elegante. Desvendamos os segredos da natureza através das vias mais improváveis. As sociedades naturalmente desejarão exercer a prudência na decisão de quais tecnologias — isto é, quais aplicações científicas — devem ser perseguidas e quais não devem. Mas, se não consolidarmos a pesquisa básica, se não apoiarmos a aquisição do conhecimento por seu próprio interesse, nossas opções tornar-se-ão perigosamente limitadas. Somente um físico dentre mil precisa encontrar casualmente algo como a corrente de deslocamento para justificar a todos os outros um soberbo investimento por parte da sociedade. Sem o incentivo vigoroso, a longo prazo e contínuo, da pesquisa científica fundamental, ficamos na posição de comer a própria semente que iria gerar o milho. Podemos escapar da desnutrição por mais um inverno, mas teremos extinguido a última esperança de sobrevivência para o inverno seguinte.

Em uma época semelhante à nossa em certos aspectos, Santo Agostinho de Hippo, após uma juventude saudável e intelectualmente inventiva, retirou-se do mundo da lógica e do intelecto e aconselhou os outros a fazerem o mesmo: **"Existe outra forma de tentação, até mais carregada de perigo. É a doença da curiosidade. … É isso que nos guia a tentar desvendar os segredos da natureza, aqueles segredos que escapam à nossa compreensão, que nada nos acrescentam e os quais o homem não deve desejar saber. … Nessa imensa floresta, cheia de armadilhas e perigos, eu retornei e me afastei desses espinhos. Em meio a todas essas coisas que flutuam incessantemente ao meu redor na vida cotidiana, jamais me admiro de qualquer uma delas e jamais me sinto cativado pelo desejo autêntico de estudá-las. … Não sonho mais com as estrelas".** A morte de Santo Agostinho, em 430 d.C., marca o início do obscurantismo na Europa.

No último capítulo de *A escalada do homem*, Bronowski confessou-se entristecido **"por me ver subitamente cercado, no Ocidente, por um sentimento de terrível perda de vigor, um distanciamento do conhecimento".** Na minha opinião, ele se referia parcialmente à muito limitada compreensão e apreciação da ciência e da tecnologia — que moldaram nossas vidas e nossas civilizações — nas comunidades públicas e políticas; mas também à crescente popularidade de diversas formas de ciência marginal, popular, ou pseudociência, misticismo e magia.

Observamos hoje no Ocidente (mas não no Oriente) o ressurgimento do interesse por doutrinas vagas, anedóticas e muitas vezes experimentalmente errôneas, que, se verdadeiras, anunciariam pelo menos um universo mais interessante, mas

também que, se falsas, implicam um descuido intelectual, uma ausência do espírito de luta e um desvio de energias não muito promissor para nossa sobrevivência. Entre essas doutrinas acham-se a astrologia (a opinião de que as estrelas a centenas de trilhões de quilômetros, que estavam subindo no momento em que eu nascia em um edifício fechado, influenciam profundamente meu destino); o "mistério" do Triângulo das Bermudas (que comporta muitas versões de que um objeto voador não identificado atua nas imediações das ilhas Bermudas e faz desaparecer navios e aviões); os relatos a respeito de discos voadores em geral; a crença em astronautas vindos à Terra no passado; a fotografia de fantasmas; a piramidologia (inclusive a opinião de que minha lâmina de barbear fica mais afiada dentro de uma pirâmide de cartolina do que dentro de um cubo do mesmo material); a cientologia; auras e fotografias Kirlian; a vida emocional e as preferências musicais dos gerânios; a cirurgia psíquica; a terra plana e oca; a profecia moderna; o entortamento de talheres a distância; as projeções astrais; o catastrofismo velikovskiano; a Atlântida e o Mu; o espiritualismo; e a doutrina da criação especial da natureza por Deus ou por deuses, apesar de nossa profunda correlação, tanto do ponto de vista bioquímico quanto da fisiologia cerebral, com os outros animais. Pode ser que haja uma ponta de verdade em algumas dessas doutrinas, mas sua aceitação disseminada demonstra uma falta de rigor intelectual, uma ausência de ceticismo, uma necessidade de substituir as experiências pelos desejos. Essas são, em geral, se é que posso usar a expressão, doutrinas límbicas e do hemisfério direito, rituais oníricos, respostas naturais — a palavra é certamente adequada — e humanas à complexidade do ambiente que nos cerca. Mas elas também constituem doutrinas místicas e ocultas, idealizadas de tal maneira que não estão sujeitas a contestação e são caracteristicamente impermeáveis à discussão racional. Em contraposição, a abertura para um futuro brilhante reside quase com certeza no total funcionamento do neocórtex — razão aliada à intuição e aos componentes límbicos e do complexo-R, sem dúvida, mas não obstante razão: uma intrépida labuta através do mundo como ele realmente é.

Foi somente no último dia do Calendário Cósmico que substanciais faculdades intelectuais evoluíram sobre o planeta Terra. O funcionamento coordenado de ambos os hemisférios cerebrais foi o instrumento com que a natureza nos dotou para a sobrevivência. Seria improvável nossa sobrevivência caso não utilizássemos nossa inteligência humana integralmente e de forma criativa.

"Somos uma civilização científica", declarou Jacob Bronowski. "Isso significa uma civilização na qual o conhecimento e sua integridade são cruciais. Ciência é apenas uma palavra latina que significa conhecimento. … O conhecimento é nosso destino."

Bibliografia

ALLISON, T., & D. V. CICCHETTI. *Sleep in mammals: ecological and constitutional correlates*. Science, vol. 149, pp. 732-734, 1976.

AREHART-TREICHEL, JOAN. *Brain peptides and psychopharmacology*. Science News, vol. 110, pp. 202-206, 1976.

ARONSON, L. R., TOBACH, E., LEHRMAN, D. S., & J. S. ROSENBLATT, orgs. *Development and evolution of behavior: essays in memory of T. C. Schneirla*. W. H. Freeman, San Francisco, 1970.

BAKKER, ROBERT T. *Dinoasur renaissance*. Scientific American, vol. 232, pp. 58-72 ss., abril de 1975.

BITTERMAN, M. E. *Phyletic differences in learning*. American Psychologist, vol. 20, pp. 396-410, 1965.

BLOOM, F., D. SEGAL, N. LING & R. GUILLEMIN. *Endorphins: profound behavioral effects in rats suggest new etiological factors in mental illness*. Science, vol. 194, pp. 630-632, 1976.

BOGEN, J. E. *The other side of the brain. II. An appositional mind*. Bulletin Los Angeles Neurological Societies, vol. 34, pp. 135-162, 1969.

BRAMLETTE, M. N. *Massive extinctions in biota at the end of mesozoic time*. Science, vol. 148, pp. 1696-1699, 1965.

BRAND, STEWART. *Two cybernetic frontiers*. Random House, Nova York, 1974.

BRAZIER, M. A. B. *The electrical activity of the nervous system*. Macmillan, Nova York, 1960.

BRONOWSKI, JACOB. *The ascent of man*. Little, Brown, Boston, 1973.

BRITTEN, R. J. & E. H. DAVIDSON. *Gene regulation for higher cells: a theory*. Science, vol. 165, pp. 349-357, 1969.

CLARK, W. E. LEGROS. *The antecedents of man: an introduction to the evolution of the primates*. Edinburgh University Press, Edimburgo, 1959.

COBERT, EDWIN. *Dinosaurs: their discovery and their world*. E. P. Dutton, Nova York, 1961.

COLE, SONIA. *Leakey's luck: the life of Louis S. B. Leakey*. Harcourt Brace Jovanovich, Nova York, 1975.

COPPENS, YVES. *The great East African adventure*. CNRS Research, vol. 3, nº 2, pp. 2-12, 1976.

COPPENS, YVES, F. CLARK HOWELL, GLYNN LL. ISAAC & RICHARD E. F. LEAKEY, orgs. *Earliest man and environments in the Lake Rudolf Basin: stratigraphy, palaeococology and evolution*. University of Chicago Press, Chicago, 1976.

CULLITON, BARBARA J. *The Haemmerli affair: is passive euthanasia murder?* Science, vol. 190, pp. 1271-1275, 1975.

CUTLER, RICHARD G. *Evolution of human longevity and the genetic complexity governing aging rate*. Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 72, pp. 4664-4668, 1975.

DEMENT, WILLIAM C. *Some must watch while some must sleep*. W. H. Freeman, San Francisco, 1974.

DERENZI, E., FAGLIONI, P., & H. SPINNLER. *The performance of patients with unilateral brain damage on face recognition tasks*. Cortex, vol. 4, pp. 17-34, 1968.

DEWSON, J. H. *Preliminary evidence of hemispheric asymmetry of auditory function in monkeys*. In Lateralization in the nervous system, S. Harnard, org. Academic Press, Nova York, 1976.

DIMOND, STUART, LINDA FARRINGTON & PETER JOHNSON. *Differing emotional responses from right and left hemispheres*. Nature, vol. 261, pp. 690-692, 1976.

DIMOND, S. J., & J. G. BEAUMONT, orgs. *Hemisphere function in the human brain*. Wiley, Nova York, 1974.

DOBZHANSKY, THEODOSIUS. *Mankind evolving: the evolution of the human species*. Yale University Press, New Haven, Conn., 1962.

DOTY, ROBERT W. *The brain*. Britannica Yearbook of Science and the Future, Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1970, pp. 34-53.

ECCLES, JOHN C. *The understending of the brain*. McGraw-Hill, Nova York, 1973.

ECCLES, JOHN C., org., *Brain and conscious experience*. Springer-Verlag, Nova York, 1966.

EIMERL, SAREL & IRVEN DEVORE. *The primates*. Life Nature Library, Time Inc., Nova York, 1965.

FARE, PETER. *Man's rise to civilization as shown by the Indians of North America from primeval times to the coming of the industrial state*. E. P. Dutton, Nova York, 1968.

FINK, DONALD G. *Computers and the human mind: an introduction to artificial intelligence*. Doubleday Anchor Books, Nova York, 1966.

FRISCH, JOHN H. *Research on primate behavior in Japan*. American Anthropologist, vol. 61, pp. 584-596, 1959.

FROMM, ERICH. *The forgotten language: an introduction to the understanding of dreams, fairy tales and myths*. Grove Press, Nova York, 1951.

GALIN, D., & R. ORNSTEIN. *Lateral specialization of cognitive mode: an EEG Study*. Psychophysiology, vol. 9, pp. 412-418, 1972.

GANTT, ELIZABETH. *Phycobilisomes: light-harvesting pigment complexes*. Bioscience, vol. 25, pp. 781-788, 1975.

GARDNER, R. A. & BEATRICE T. GARDNER. *Theaching sign-language to a chimpanzee.* Science, vol. 165, pp. 664-672, 1969.

GAZZANIGA, M. S. *Consistency and diversity in brain organization*. Proceedings of the Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, annals of the New York Academy of Sciences, 1977.

GAZZANIGA, M. S. *The split brain in man*. Scientific American, vol. 217, pp. 24-29, 1967.

GERARD, RALPH W. *What is memory?.* Scientific American, vol. 189, pp. 118-126, setembro de 1953.

GOODALL, JANE. *Tool-using and aimed throwing in a community of free-living chimpanzees*. Nature, vol. 201, pp. 1264-1266, 1964.

GOULD, STEPHEN JAY. *This view of life: Darwin's untimely burial*. Natural History, vol. 85, pp. 24-30, outubro de 1976.

GRAY, GEORCE W. *The great ravelled knot*. Scientific American, vol. 179, pp. 26-39, outubro de 1948.

GRIFFITH, RICHARD M., MIYAGI, OTOYA & TAGO, AKIRA. *The universality of typical dreams: Japanese vs. Americans*., American Anthropologist, vol. 60, pp. 1173-1179, 1958.

GRINSPON, LESTER, EWALT, J. R. & R. I. SCHADER. *Schizophrenia: pharmacotherapy and psychotherapy*. Wilkins, Baltimore, 1972.

HAMILTON, C. R. *An assessment of hemispheric specialization in monkeys*. Proceedings of the Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, annals of the New York Academy of Sciences, 1977.

HARNER, M. J., org. *Hallucinogens and shamanism*. Oxford University Press, Londres, 1973.

HARRIS, MARVIN. *Cows, pigs, wars and witches: the riddles of culture*. Random House, Nova York, 1974.

HARTMANN, ERNEST L. *The functions of sleep*. Yale University Press, New Haven, Conn., 1973.

HAYES, C. *The ape in our house*. Harper, Nova York, 1951.

HERRICK, C. JUDSON. *A sketch of the origin of the cerebral hemispheres*. Journal of Comparative Neurology, vol. 32, pp. 429-454, 1951.

HOLLOWAY, RALPH L. *Cranial capacity and the evolution of the human brain*. American Anthropologist, vol. 68, pp. 103-121, 1966.

HOLLOWAY, RALPH L. *The evolution of the primate brain: some aspects of quantitative relations*. Brain Research, vol. 7, pp. 121-172, 1968.

HOWELL, F. CLARK. *Early man*. Life Nature Library, Time, Inc., Nova York, 1965.

HOWELLS, WILLIAM. *Mankind in the making: the story of human evolution*. Rev. ed. Doubleday, Nova York, 1967.

HUBEL, D. H., & WIESEL, T. N. *Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex*. Journal of Physiology, vol. 150, pp. 91-104, 1960.

INGRAM, D. *Cerebral speech lateralization in young children*. Neuropsychologia, vol. 13, pp. 103-105, 1975.

JERISON, H. J. *Evolution of the brain and intelligence*. Academic Press, Nova York, 1973.

JERISON, H. J. *The theory of encephalization*. Proceedings Conference of Evolution and Lateralization of the Brain, annals of the New York Academy of Sciences, 1977.

KELLER, HELEN. *The story of my life*. Nova York, 1902.

KORSAKOV, S. *On the psychology of microcephalics* [1893]. Reimpresso em American Journal of Mental Deficiency Research, vol. 4, pp. 42-47, 1957.

KROEBER, T. *Ishi in two worlds*. University of California Press, Berkeley, 1961.

KURTÉN, BJÖRN. *Not from the apes: the history of man's origins and evolution*. Vintage Books, Nova York, 1972.

LA BARRE, WESTON. *The human animal*. University of Chicago Press, Chicago, 1954.

LANGER, SUSANNE. *Philosophy in a new key: a study in the symbolism of reason, rite and art*. Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1942.

LASHLEY, K. S. *In search of the engram*. Symposia of the Society of Experimental Biology, vol. 4, pp. 454-482, 1950.

LASHLEY, K. S. *Persistent problems in the evolution of mind*. Quarterly Review of Biology, vol. 24, pp. 28-42, 1949.

LEAKEY, R. E. F., & A. C. WALKER. *Australopithecus, Homo erectus and the single species hypothesis*. Nature, vol. 261, pp. 572-574, 1976.

LEAKEY, RICHARD E. *Hominids in Africa*. American Scientist, vol. 64, nº 2, p. 174, 1976.

LEE, RICHARD, & IRVEN DEVORE, orgs. *Man, the hunter*. Aldine, Chicago, 1968.

LE MAY, M. & GESCHWIND, N. *Hemispheric differences in the brain of great apes*. Brain behavior and evolution, vol. 11, pp. 48-62, 1975.

LETTVIN, J. Y., MATTURANA, H. R., MCCULLOCH, W. S. & PITTS, W. J. *What the frog's eye tells the frog's brain*. Proceedings of Institute of Radio Engineers, vol. 47, pp. 1940-1951.

LIEBERMAN, P., KLATT, D. & W. H. WILSON. *Vocal tract limitations on the vowel repertoires of Rhesus monkeys and other non-human primates*. Science, vol. 164, pp. 1185-1187, 1969.

LINDEN, EUGENE. *Apes, man and language*. E. P. Dutton, Nova York, 1974.

LONGUET-HIGGINS, H. C. *Perceptions of melodies*. Nature, vol. 263, pp. 646-653, 1976.

MACLEAN, PAUL D. *On the evolution of the mentalities* (no prelo).

MACLEAN, PAUL D. *A triune concept of the brain and behavior*. University of Toronto Press, Toronto, 1973.

MCCULLOCH, W. S. & PITTS, W. *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*. Bulletin of mathematical biophysics, vol. 5, pp. 115-133, 1943.

MCHENRY, HENRY. *Fossils and the mosaic nature of human evolution*. Science, vol. 190, pp. 425-431, 1975.

MEDDIS, RAY. *On the functions of sleep*. Animal Behaviour, vol. 23, pp. 676-691, 1975.

METTLER, F. A. *Culture and the structural evolution of the neural system*. American Museum of Natural History, Nova York, 1956.

MILNER, BRENDA, CORKIN, SUZANNE & TEUBER, HANS-LUKAS. *Further analysis of the hippocampal amnesic syndrome: 14-year follow-up study of H.M*. Neuropsychologia, vol. 16, pp. 215-234, 1968.

MINSKY, MARVIN. *Artificial intelligence*. Scientific American, vol. 214, pp. 19-27, 1966.

MITTWOCH, URSULA. *Human anatomy*. Nature, vol. 261, p. 364, 1976.

NEBES, D. & R. W. SPERRY. *Hemispheric deconnection syndrome with cerebral birth injury in the dominant arm area*. Neuropsychologia, vol. 9, pp. 247-259, 1971

OXNARD, C. E. *The place of the australopithecines in humam evolution: grounds for doubt?.* Nature, vol. 258, pp. 389-395, 1975.

PENFIELD, W. & L. ROBERTS. *Speech and brain mechanisms*. Princeton University Press, Princeton, N.J., 1959.

PENFIELD, W. & T. C. ERICKSON. *Epilepsy and cerebral localization*. Charles C. Thomas, Springfield, Ill., 1941.

PILBEAN, DAVID. *The ascent of man – an introduction to human evolution*. MacMillan, Nova York, 1972.

PILBEAN, D. & S. J. GOULD. *Size and scaling in human evolution*. Science, vol. 186, pp. 892-901, 1974.

PLATT, JOHN R. *The step to man.* John Wiley, Nova York, 1966.

PLOOG, D. W., BLITZ, J. & PLOOG, F. *Studies on social and sexual behavior of the squirrel monkey (Saimary sciureus)*. Folia Primatologica, vol. 1 pp. 29-66, 1963.

POLIAKOV, G.I. *Neuron structure of the brain*. Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1972.

PREMACK, DAVID. *Language and intelligence in ape and man*. American Scientist, vol. 64, pp. 674-683, 1976.

PRIBRAM, K. H. *Languages of the brain*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1971.

RADINSKY, LEONARD. *Oldest horse brain: more advanced than previously realized*. Science, vol. 194, pp. 626-627, 1976.

RADINSKY, LEONARD. *Primate brain evolution*. American Scientist, vol. 63, pp. 656-663, 1975.

RALL, W. *Theoretical significance of dendritic trees for neuronal input-output relations*. In Neural Theory and Modeling, R. F. Reiss, ed., Stanford University Press, Stanford, 1964.

ROSE STEVEN. *The conscious brain*. Alfred A. Knopf, Nova York, 1973.

ROSENZWEIG, MARX R., EDWARD L. BENNETT & MARIAN CLEEVES DIAMOND. *Brain changes in response to experience*. Scientific American, vol. 226, nº 2, pp. 22-29, fevereiro de 1972.

RUMBAUGH, D. M., GILL, T. V. & E. C. VON GLASERFELD. *Reading and sentence completion by a chimpanzee*. Science, vol. 182, pp. 731-735, 1973.

RUSSELL, DALE A. *A new specimen of Stereouychosaurus from the oldman formation (Cretaceous) of Alberta*. Canadian Journal of Earth Sciences, vol. 6, pp. 595-612, 1969.

RUSSELL, DALE A. *Reptilian diversity and the Cretaceous-tertiary transition in North America*. Geological Society of Canada Special Paper nº 13, pp. 119-136, 1973.

SAGAN, CARL. *The cosmic connection: an extraterrestrial perspectiva*. Doubleday, Nova York, 1973; Dell, Nova York, 1975.

SAGAN, CARL. org. *Communication with extraterrestrial intelligence*. MIT Press, Cambridge, Mass., 1973.

SCHALLER, GEORGE. *The mountain gorilla: ecology and behavior*. University of Chicago Press, Chicago, 1963.

SCHANK, R. C. & K. M. COLBY, orgs. *Computer models of thought and language*. W. H. Freeman, San Francisco, 1973.

SCHMITT, FRANCIS O., PARVATI, DEV & BARRY H. SMITH. *Electronic processing of information by brain cells*. Science, vol. 193, pp. 114-120, 1976.

SHKLOVSKII, I. S. & CARL SAGAN. *Intelligent life in the universe*. Dell, Nova York, 1967.

SNYDER, F. *Toward an evolutionary theory of dreaming*. American Journal of Psychiatry, vol. 132, pp. 121-142, 1966.

SPERRY, R. W. *Perception in the absence of the neocortical commissures*. In Perception and its disorders, Research Publication of the Association for Research in Nervous Mental Diseases, vol. 48, 1970.

STAHL, BARBARA J. *Early and recent primitive brain forms*. Proceedings of the Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, annals of the New York Academy of Sciences, 1977.

SWANSON, CARL, P. *The Natural History of Man*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1973.

TENG, EVELYN LEE, LEE, P.H., YANG, K. S. & P. C. CHANG. *Handedness in a Chinese population: biological, social and pathological factors*. Science, vol. 193, pp. 1148-1150, 1976.

TEUBER, HANS-LUKAS. *Effects of focal brain injury ou human behavior*. In The Nervous System, Donald B. Tower, editor-in-chief, vol. 2: The Clinical Neurosciences. Raven Press, Nova York, 1975.

TEUBER, HANS-LUKAS, MILNER, BRENDA & VAUGHAN, H. G., JR. *Persistent anterograde amnesia after stab wound of the basal brain*. Neuropsychologia, vol. 6, pp. 267-282, 1968.

TOWER, D. B. *Structural and functional organization of mammalian cerebral cortex: the correlation of neurone density with brain size*. Journal of Comparative Neurology, vol. 101, pp. 19-51, 1954.

TROTTER, ROBERT J. *Language evolving, part II*. Science News, vol. 108, pp. 378-383, 1975.

TROTTER, ROBERT J. *Sinister psychology*. Science News, vol. 106, pp. 220-222, 5 de outubro de 1974.

TURKEWITZ, GERALD. *The development of lateral differentiation in the human infant*. Proceedings of the Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, annals of the New York Academy of Sciences, 1977.

VACROUX, A. *Microcomputers*. Scientific American, vol. 232, pp. 32-40, maio de 1975.

VAN LAWICK-GOODALL, JANE. *In the shadow of man*. Houghton-Mifflin, Boston, 1971.

VAN VALEN, LEIGH. *Brain size and intelligence in man*. American Journal of Physical Anthropology, vol. 40, pp. 417-424, 1974.

VON NEWMANN, JOHN. *The Computer and the brain*. Yale University Press, New Haven, Conn., 1958.

WALLACE, PATRICIA. *Unravelling the mechanism of memory*. Science, vol. 190, pp. 1076-1078, 1975.

WAREEN, J. M. *Possibility unique characteristics of learning by primates*. Journal of Human Evolution, vol. 3, pp. 445-454, 1974.

WASHBURN, SHERWOOD L. *Tools and human evolution*. Scientific American, vol. 203, pp. 62-75, Setembro de 1960.

WASHBURN, S. L. & R. MOORE. *Ape into man*. Little Brown, Boston, 1974.

WEBB, W. B. *Sleep, the gentil tyrant*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1975.

WEIZENBAUM, JOSEPH. *Conversations with a mechanical psychiatrist*. The Harvard Review, vol. 111, nº 2, pp. 68-73, 1965.

WENDT, HERBERT. In search of Adam. Collier Books, Nova York, 1963.

WITELSON, S. F. & W. PALLIE. *Left hemisphere specialization for language in the newborn: neuroanatomical evidence of asymmetry*. Brain, vol. 96, pp. 641-646, 1973.

YENI-KONISHIAN, G. H. & D. A. BENSON. *Anatomical study of cerebral asymmetry in the temporal lobe of humans, chimpanzees, and Rhesus monkeys*. Science, vol. 192, pp. 387-389, 1976.

YOUNG, J. Z. *A model of the brain*. Clarendon Press, Oxford, 1964.

Agradecimentos

Escrever um livro sobre um assunto alheio à própria formação é, na melhor das melhores hipóteses, uma imprudência. Mas, como já expliquei, a tentação foi irresistível. Quaisquer virtudes porventura existentes nesta obra devem-se em grande parte às pessoas que realizaram a pesquisa fundamental relatada e aos profissionais das ciências biológicas e sociais que tiveram a gentileza de ler e reagir a meus argumentos. Quanto aos comentários críticos e às acaloradas discussões, tenho uma dívida de gratidão para com L. S. B. Leakey e Hans-Lukas Teuber, recentemente falecidos, para com Joshua Lederberg, James Maas, John Eisenberg, Bernard Campbell, Lester e David Grinspoon, Stephen Jay Gould, William Dement, Geoffrey Bourne, Philip Morrison, Charles Hockett, Ernest Hartmann, Richard Gregory, Paul Rozin, Jon Lomberg, Timothy Ferris, e sobretudo para com Paul MacLean. Muito tenho de agradecer pelo desvelo que muitos deles, bem como a redatora Anne Freedgood e a revisora Nancy Inglis, ambas da editora Random House, demonstraram ao ler os primeiros rascunhos deste livro. É desnecessário dizer que eles não são responsáveis por minhas especulações, nem pelos erros cometidos. Sou grato a Linda Sagan e a Sally Forbes pela pesquisa das ilustrações; a vários colaboradores pela reprodução de artigos científicos ainda inéditos; e a Don Davis pela pintura da capa, que não pretende ser uma representação literal de nenhuma época histórica da Terra, senão uma metáfora de algumas das ideias expostas. Uma parcela desse trabalho só foi possível graças à instituição da licença-prêmio na Universidade Cornell. Sou também agradecido à generosa hospitalidade dispensada por L. E. H. Trainor, M. Silverman, C. Lumsden e Andrew Baines, diretor do New College, todos filiados à Universidade de Toronto. Partes consideráveis do capítulo I foram publicadas na revista *Natural History*. Alguns dos conceitos presentes neste livro foram primeiramente lançados num colóquio no Centro de Saúde Mental de Massachusetts e no Departamento de Psiquiatria da Escola de Medicina da Universidade de Harvard, e também numa conferência na Fundação L. S. B. Leakey no Instituto de Tecnologia da Califórnia. A produção deste livro muito deve à capacidade datilográfica de Mary Roth e, em especial, à dedicada transcrição em muitos rascunhos realizadas por Shirley Arden.

Glossário

ACESSO Jargão de computador significando contato com informação guardada em outro ponto.

ÁCIDOS NUCLEICOS O material genético da vida terrestre, que consiste em sequências helicoidais de unidades chamadas nucleotídios, geralmente arrumadas em dupla hélice. Existem duas espécies principais de ácidos nucleicos, o ADN e o ARN.

ADN Ácido desoxirribonucleico. Ver "ácidos nucleicos".

AFASIA Geralmente uma diminuição ou perda da capacidade de articular as ideias pela linguagem de qualquer espécie. Às vezes o termo é usado de forma mais estrita para indicar a incapacidade de reconhecer as palavras faladas. Compare com "alexia".

AFETO Um sentimento ou emoção, sobretudo forte.

ALEXIA Diminuição ou perda da capacidade de compreender palavras ou sentenças manuscritas ou impressas. Compare com "afasia".

AMESLAN Sigla obtida a partir de "AMErican Sign LANguage" (linguagem americana de sinais), amplamente usada por pessoas com prejuízo da fala e da audição.

AMÍGDALA Um componente em forma de amêndoa do sistema límbico, adjacente ao lobo temporal do neocórtex.

ANÁGLIFO Representação bidimensional estereoscópica de uma imagem tridimensional; mais comumente composta de pontos vermelhos e verdes e vista com óculos vermelhos e verdes.

ÁREA DE BROCA Porção do neocórtex intimamente ligada à fala.

ARN Ácido ribonucleico. Ver "ácidos nucleicos".

BITS Unidades de informação binária. Um bit é a resposta a uma única pergunta que comporta sim ou não.

BULBO A porção do cérebro na região da sua ligação com a medula espinhal. Faz parte do rombencéfalo.

BULBOS OLFATIVOS Componentes cerebrais ligados à frente do prosencéfalo; desempenham importante papel na percepção dos odores.

CEREBELO Massa cerebral que se situa no dorso da cabeça, abaixo do córtex cerebral posterior e acima da ponte e do bulbo no rombencéfalo. À semelhança do neocórtex, apresenta dois hemisférios.

CÉREBRO TRINO A ideia, recentemente lançada por Paul MacLean, de que o prosencéfalo compreende três sistemas cognitivos que evoluíram separadamente e que, até certo ponto, funcionam independentemente.

CETÁCEOS Ordem de mamíferos aquáticos que abrange as baleias e os golfinhos.

CHASSI NEURAL A combinação da medula espinhal, do rombencéfalo e do mesencéfalo.

CIRCUNVOLUÇÃO Ver "giro".

COMISSURA ANTERIOR Um feixe relativamente pequeno de fibras nervosas que conectam os hemisférios cerebrais esquerdo e direito do neocórtex. Compare com "corpo caloso".

COMISSURA HIPOCAMPAL Um feixe relativamente pequeno de fibras nervosas que conectam os hemisférios do córtex cerebral próximo ao hipocampo. Compare com "corpo caloso".

COMPLEXO-R ou COMPLEXO REPTILIANO A parte evolutivamente mais antiga do prosencéfalo.

CORPO CALOSO A grande comissura, ou feixe de fibras nervosas, que constitui a principal ligação entre os hemisférios esquerdo e direito do córtex cerebral.

CÓRTEX CEREBRAL No homem e nos mamíferos superiores, a grande camada externa dos hemisférios cerebrais, em grande parte responsável por nosso comportamento caracteristicamente humano. Às vezes, sinônimo de neopálio ou neocórtex.

CÓRTEX MOTOR. A porção do neocórtex relacionada ao movimento e à coordenação dos membros.

CRANIOTOMIA A seção ou a retirada do crânio, geralmente como pré-requisito para neurocirurgia.

CROMOSSOMOS As longas fitas de material hereditário que contêm os genes; são compostos exclusivamente de ácidos nucleicos.

DESCARGA DE BUFFER O acesso ou a disponibilidade de informação temporariamente depositada na memória de curto prazo.

DIVISÃO TAXONÔMICA Um grupo de organismos classificados de acordo com características comuns, variando de distinções menores, tais como raça e subespécie, até distinções maiores, como as diferenças entre os reinos vegetal e animal.

ELETRODO Um condutor elétrico sólido pelo qual flui uma corrente elétrica. As correntes elétricas no cérebro são sentidas pelo eletrencefalógrafo através de seus eletrodos.

ELETRENCEFALÓGRAFO (EEG) Aparelho que consiste em amplificadores e uma caneta que escreve automaticamente num cilindro giratório, usado para registrar as correntes elétricas no cérebro, conduzidas ao aparelho por eletrodos ligados à superfície da cabeça. É útil no diagnóstico médico e em estudos da função cerebral.

ENDORFINAS Pequenas proteínas cerebrais produzidas internamente, capazes de desencadear uma série de estados emocionais e de outras naturezas nos animais.

EQUIPOTENTE Que tem capacidade idêntica; em particular, a noção de que, para certas funções cognitivas e de outra natureza, qualquer parte do cérebro pode substituir uma outra.

EXTIRPAÇÃO Remoção total de parte do cérebro, geralmente através de intervenção cirúrgica.

GAMETAS Espermatozoides ou óvulos maduros capazes de participar da fecundação. Contêm um número haploide de cromossomos.

GIRO Uma das elevações proeminentes e arredondadas da superfície do neocórtex. Também chamado circunvolução.

HAPLOIDE Que tem um número de cromossomos igual à metade do número encontrado em uma célula somática comum. Exemplificando: no homem, cada célula somática possui 46 cromossomos, mas cada gameta possui 23.

HIPOCAMPO Estrutura do sistema límbico relacionada com a memória.

HIPÓFISE A glândula endócrina "mestra", situada no sistema límbico, mas

próxima ao mesencéfalo; influencia tanto o crescimento quanto as operações de outras glândulas endócrinas.

HIPOTÁLAMO Porção do sistema límbico que se situa abaixo do tálamo e, entre outras funções, ajuda a regular a temperatura corporal e os processos metabólicos.

INFORMAÇÃO EXTRAGENÉTICA Informação transmitida exteriormente aos genes — geralmente contida nos cérebros e nas culturas.

INFORMAÇÃO EXTRA-SOMÁTICA Informação transmitida exteriormente ao corpo (o conteúdo dos livros, por exemplo).

LATERALIZAÇÃO Separação da função entre dois lados, especialmente os hemisférios esquerdo e direito do neocórtex.

LOBO FRONTAL Aproximadamente, a porção do neocórtex que se localiza atrás da testa.

LOBO OCCIPITAL Aproximadamente, a porção do neocórtex por baixo do dorso do crânio.

LOBO PARIETAL Aproximadamente, a porção média de cada hemisfério cerebral do neocórtex.

LOBO TEMPORAL Aproximadamente, a porção do neocórtex por baixo das têmporas.

LOBOTOMIA Incisão cirúrgica ou lesão de um dos lobos neocorticais.

LOCALIZAÇÃO DE FUNÇÃO CEREBRAL A descoberta de que determinadas partes do cérebro desempenham funções específicas. Opõe-se à hipótese da equipotência.

MEMÓRIA DE CURTO PRAZO Memória retida por curtos períodos de tempo — por exemplo, por menos de um dia.

MEMÓRIA DE LONGO PRAZO Memória retida por consideráveis períodos de tempo — por exemplo, por mais de um dia.

MESENCÉFALO A região média do cérebro dos vertebrados, entre o rombencéfalo e o prosencéfalo.

MICROCÉFALO Indívíduo com cabeça inusitadamente pequena. A condição associa-se com frequência a considerável prejuízo mental.

MOLDE INTERNO Molde de um interior; neste livro, o molde do interior de uma caixa craniana fóssil.

MOR Movimento Ocular Rápido, particularmente aqueles que ocorrem sob as pálpebras durante o sono. Por conseguinte, a caracterização de tal sono. Também conhecido pela sigla inglesa REM.

MUTAÇÕES Alterações hereditárias nos ácidos nucleicos dos cromossomos.

NEOCÓRTEX A parte mais externa e evolutivamente mais recente do córtex cerebral. Às vezes usado como sinônimo de córtex cerebral.

NEURÔNIO Célula nervosa, a unidade fundamental do sistema nervoso; elemento básico da construção do cérebro.

NICHO ECOLÓGICO O papel de um organismo na natureza.

NUCLEOTÍDIO Unidades fundamentais dos ácidos nucleicos.

PLASTICIDADE A capacidade de ser moldado ou formado; em particular, a capacidade de obter ensinamento a partir do meio exterior.

PONTE A ponte neural que liga o bulbo ao mesencéfalo. Faz parte do tronco cerebral.

PREESTABELECIDO ("PREWIRED") Jargão de computador para informação já fixada. Quanto mais preestabelecido, menor plasticidade.

PRESSÃO DE SELEÇÃO Na teoria da evolução, a influência do meio ambiente na seleção de sobrevivência e reprodução de um determinado conjunto de características genéticas.

PRIMATAS Uma ordem (uma das classificações taxonômicas) de mamíferos - que abrange os lêmures, os macacos, os antropoides e o homem.

PROCESSOS PRIMÁRIOS Termo psicanalítico para designar as funções inconscientes fundamentais do cérebro.

PROSENCÉFALO Evolutivamente, a mais recente das três principais divisões do cérebro dos vertebrados. Divide-se em complexo-R, sistema límbico e neocórtex.

PROTEÍNAS Juntamente com os ácidos nucleicos, o princípio molecular básico da vida da Terra. As proteínas são compostas de unidades denominadas aminoácidos e em geral ficam laboriosamente enroladas e retraídas. Algumas proteínas assumem forma esférica, ao passo que outras assemelham-se a esculturas surrealistas aleatórias. Todas as enzimas, que controlam a velocidade das reações químicas na célula, são proteínas. A síntese e a ativação de enzimas são controladas pelos ácidos nucleicos.

PSICOMOTOR Referente ao controle mental dos processos musculares.

RECAPITULAÇÃO DA FILOGENIA PELA ONTOGENIA ou simplesmente RECAPITULAÇÃO A aparente repetição, durante o desenvolvimento embrionário de um organismo individual, de uma fase evolutiva passada da espécie.

ROMBENCÉFALO A parte mais arcaica do cérebro, abrangendo a ponte, o cerebelo, o bulbo e a porção superior da medula espinhal. Também é chamado de tronco cerebral.

SELEÇÃO NATURAL O principal processo de evolução biológica, descrito pela primeira vez por Darwin e Wallace. A sobrevivência e a reprodução preferencial de organismos fortuitamente mais bem adaptados aos seus meios do que seus competidores.

SINAPSE A junção de dois neurônios: o local onde um impulso elétrico é transmitido de um neurônio para outro.

SISTEMA LÍMBICO A parte do prosencéfalo intermediária em local e em antiguidade entre o complexo-R e o neocórtex.

TÁLAMO Porção do sistema límbico próximo ao centro do cérebro. Entre outras funções, retransmite estímulos sensoriais ao neocórtex.

TOMIA sufixo grego que significa corte, incisão (ver, por exemplo, craniotomia ou lobotomia).

TRONCO CEREBRAL Ver "rombencéfalo".

ZIGOTO Produto da fecundação de um óvulo por um espermatozoide.

Agradecimentos pelas permissões

Páginas finais, capítulos iniciais, páginas 72 e 195: Cortesia de The Escher Foundation — Haags Gemeentemuseum — Haia. Páginas 36 e 37: De *The great ravelled knot*, de George W. Gray, Scientific American, outubro de 1948, pp. 32-33. Copyright © 1948 by Scientific American Inc. Todos os direitos reservados. Página 57: De The Journal of Cell Biology, volume 26, pp. 365-381, figura 1 (1965). Reproduzido com permissão da Rockefeller University e da Dra. Elizabeth Gantt. Página 61: Reimpresso com permissão de Science News; The Weekly News Magazine of Science. Copyright © 1976 by Science Service Inc. Página 69: De *Effects of focal brain injury on human behavior*, de Hans-Lukas Teuber, The nervous system, volume 2: The clinical neurosciences, p. 462, editado por Donald B. Tower (Nova York: Raven Press, 1975). Reimpresso com permissão do editor. Página 78: De *Mankind in the making*, p. 60, edição revista por William Howells, desenhos de Janis Cirulis. Copyright © 1959, 1967 de William Howells. Reproduzido com permissão de Doubleday and Company, Inc. Página 79: Life Nature Library, *Early man*, de F. Clark Howell e dos editores de Time-Life Books, desenhos de Jay H. Matternes. Copyright © 1965, 1973 Time Inc. Reimpresso com permissão. Fotografia de Henry B. Beville. Página 82: De *Not from the apes*, de Björn Kurtén. Copyright © 1972 de Björn Kurtén. Reimpresso com permissão de Pantheon Books, uma divisão da Random House, Inc. Páginas 99 e 100: Cortesia da Dra. Beatrice e do Dr. Robert Gardner, Departamento de Psicologia da Universidade de Nevada, Reno. Páginas 102 e 104: De *Reading and sentence completion by a chimpanzee*, de Duane M. Rumbaugh et al., Science, 16 de novembro de 1974, volume 182, pp. 731-733, figuras 1 e 2. Copyright © 1973 da American Association for the Advancement of Science. Reimpresso com permissão do editor e do Dr. D. M. Rumbaugh. Página 115: Fotografia, cortesia do Dr. James Maas, Departamento de Psicologia, Cornell University, Ithaca, Nova York. Slide 7, Slide Group for General Psychology, parte 2; publicado por McGraw-Hill Inc., 1974. Página 119: De *A new specimen of Stenonychosaurus from the oldman formation (cretaceous) of Alberta*, de Dale A. Russell. Reproduzido com a permissão do National Research Council of Canada do Canadian Journal of Earth Sciences, volume 6, pp. 595-612, 1969. Página 120: De um mural de Charles R. Knight. Cortesia de The Field Museum of Natural History, Chicago. Reimpresso com permissão. Página 138: De *The split brain in man*, de Michael S. Gazzaniga, Scientific American, agosto de 1967, volume 217, 2, p. 26. Copyright © 1967 de Scientific American, Inc. Todos os direitos reservados. Páginas 139 e 141: De *Perception in the absence of the neocortical commissures*, de R. W. Sperry, pp. 126, 129, in *Perception and its disorders*, Proceedings of the Association for Research in Nervous and Mental Disease, 6 e 7 de dezembro de 1968, volume 48. Copyright © 1968 da Association for Research ín Nervous and Mental Disease. Reimpresso com permissão do editor. Página 142: Publicado originalmente em Neuropsychologia, volume 9, pp. 247-259. Copyright © 1971 de Pergamon Press, Inc. Reimpresso com permissão de Pergamon Press. Página 145: De *The split brain in man*, de Michael S. Gazzaniga, Scientific American, agosto de 1967, volume 217, 2, p. 28. Reimpresso com permissão do autor. Página 153: Life Nature Library, *Early man*, de F. Clark Howell e os editores de Time-Life Books, desenhos de Jay H. Metternes. Copyright © 1965,1973 Time, Inc. Reimpresso com permissão. Fotografia de Henry B. Beville. Página 169: De *The Conscious brain*, de Steven Rose. Copyright © 1973 de Steven Rose. Reimpresso com permissão de Alfred A. Knopf, Inc. Páginas 181 e 182: Fotografia, cortesia do Computer Graphics Department, Cornell University. Página 188: Fotografia, cortesia de Motorola Semiconductor Products, Inc.

O Autor e Sua Obra

Especulador científico ou profeta do futuro? Pesquisador responsável ou Dom Quixote das ciências? Criticado por uns, endeusado por outros, admirado pela maioria, Carl Sagan (1934-1996) mantém, apesar de tudo, inabalável prestígio na comunidade científica internacional.

Um dos mais dedicados estudiosos da possibilidade de vida em outros planetas e galáxias, Sagan teve público fiel, que consagrou suas obras em todas as partes do mundo, ao mesmo tempo em que é olhado com desconfiança e até mesmo execrado por uma corrente de cientistas mais ortodoxos.

Nada mal para este ambicioso nova-yorkino do Brooklyn, nascido a 9 de novembro de 1934, que aos doze anos já pensava em ser cientista, a despeito do ceticismo dos mais idosos, como seu avô, quando o menino o avisou de que seria astrônomo: "Muito bem", disse o velho, "mas como é que você vai ganhar a vida?"

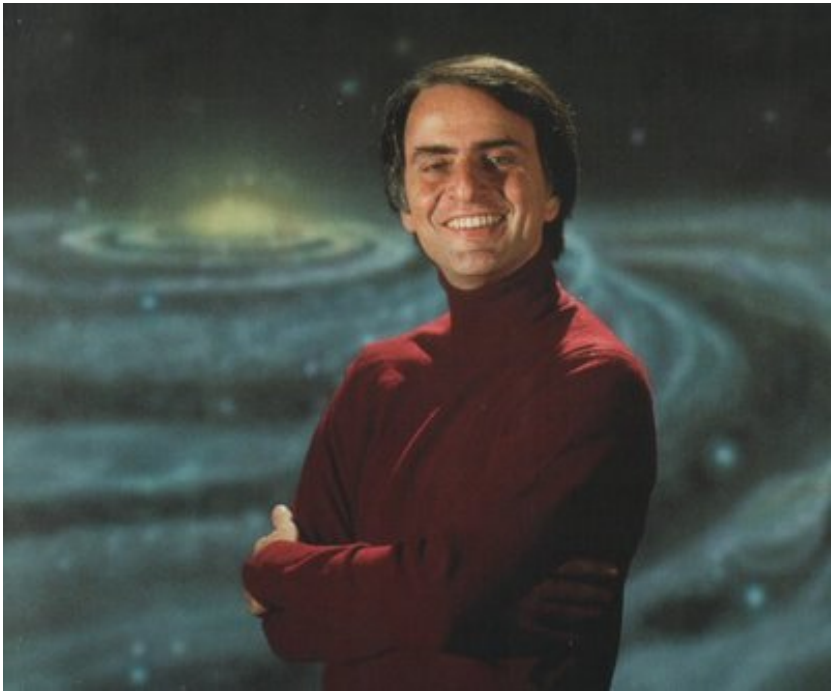
Desde então, devorou uma incrível variedade de livros, especialmente ficção científica e clássicos, estimulado que foi por sua mãe, americana, e por seu pai, imigrante russo que trabalhava como cortador numa indústria de confecções.

Com pouco mais de vinte anos, Carl Sagan já trabalhava numa teoria que procurava as explicações para misteriosas emissões de rádio do planeta Vênus. Em 1960, estudante graduado em astronomia, recebia convite da NASA para participar de seu primeiro programa exobiológico. Formado também em biologia, passou a lecionar na Universidade de Harvard, de onde foi afastado em 1968, por suas ideias serem consideradas um tanto ousadas para a linha de ensino adotada pela escola. Ensinaria ainda na Faculdade de Medicina de Stanford, antes de assumir a cadeira de astronomia e ciências espaciais na Universidade Cornell. Exerce hoje decisiva influência nos projetos espaciais norteamericanos, como consultor oficial da NASA.

Autor de inúmeros artigos e livros científicos que se transformaram em verdadeiros best sellers, entre os quais o polêmico "A Conexão Cósmica" e este "Os Dragões do Éden" (prêmio Pulitzer de 1978), uma audaciosa meditação sobre as complexidades do cérebro humano, Carl Sagan é também o responsável pela preparação de uma importante série de televisão chamada "Cosmos".

Assim, no trabalho e na pesquisa, expondo complexos princípios científicos, mostra-se ao mesmo tempo lúcido e lírico. Acima de todas as censuras e oposições, celebra a ciência como a "alegria do saber" e parece perfeitamente consciente de seu papel de franco-atirador na vanguarda dos estudos científicos.

Internet

interpretação do gráfico da massa corporal versus massa cerebral em diversos animais
Wikipedia - Os traps de Deccan: possível causa da extinção dos dinossauros
vídeo mostrando a evolução do cérebro nos hominídeos
Wikipedia - Neurophilosophy
Wikipedia - Helen Keller
Globo Reporter - 22/05/09 - segredos da memória
BBC - 31/08/2021 - Como exercício físico pode criar neurônios e ajudar memória
Wikipedia – Razão entre massa cerebral e corporal

Digitalizado em 2022. Os links da internet são um bônus da digitalização ;-)